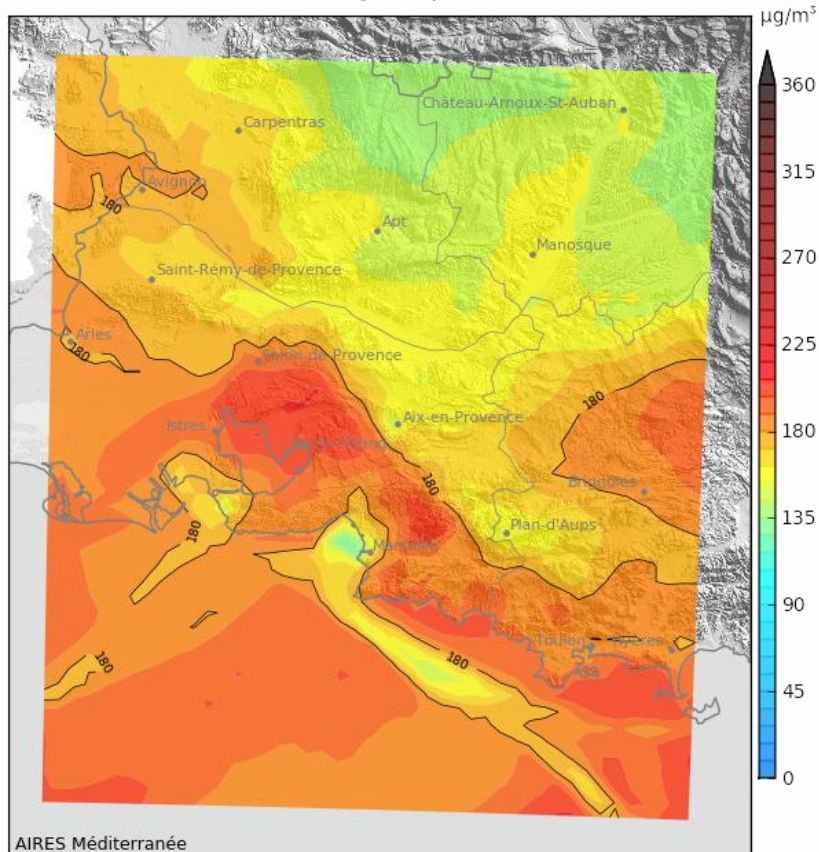


Maximum horaire O₃ du 15 juillet 2006 (ref)



IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LA POLLUTION PAR L'OZONE

Date de publication : [09/2010]
Numéro de projet : 03SIM06R

SIÈGE SOCIAL
Le Noilly Paradis
146 rue Paradis – 13294 Marseille cedex 06
Tél. : 04 91 32 38 00

ÉTABLISSEMENT DE NICE
Nice Leader - Tour Hermès - DRIRE
64-66 route de Grenoble 06200 Nice
Tél. : 04 93 18 88 00

RESUME

Cette étude a pour objectif de déterminer l'impact de mesures de réduction de la vitesse de circulation sur la qualité de l'air : **réduction de 30 km/h avec un minimum de 70 km/h.**

Dans un premier temps, les émissions résultant de ce scénario ont été calculées et comparées à la situation initiale de référence (inventaire PACA 2004 sur la zone d'étude correspondant au domaine ESCOMPTE).

Dans une seconde phase, l'impact des mesures de réduction de la vitesse sur les concentrations en ozone est étudié par rapport à l'état de référence (mai à septembre 2006) selon deux scénarios (simulés dans la plateforme AIRES Méditerranée) :

- application pérenne des mesures de réduction de vitesse sur l'intégralité de l'été étudié ;
- application ponctuelle des mesures de réduction de vitesse les jours de pics de pollution à l'ozone.

Mots-clef :

Emissions, modélisation, réduction, vitesse, ozone, pollution chronique

Auteurs : Gaëlle LUNEAU, Jonathan VIRGA

Relecteur : Alexandre ARMENGAUD

SOMMAIRE

1. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE POLLUANTS	4
1.1. METHODOLOGIE DE CALCUL DES EMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER	4
1.1.1. COPERT IV	4
1.1.2. INTEGRATION DES REDUCTIONS DE VITESSE DANS LE CALCUL D'EMISSIONS	4
1.2. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE BENZENE	6
1.2.1. RESULTATS.....	6
1.2.2. DISCUSSION.....	7
1.3. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE NO _x	9
1.3.1. RESULTATS.....	9
1.3.2. DISCUSSION.....	10
1.4. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE PARTICULES	12
1.4.1. RESULTATS.....	12
1.4.2. DISCUSSION.....	13
1.5. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO	14
1.5.1. RESULTATS.....	14
1.5.2. DISCUSSION.....	15
1.6. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO ₂	16
1.6.1. RESULTATS.....	16
1.6.2. DISCUSSION.....	17
2. MODELISATION.....	18
2.1. INTRODUCTION	18
2.1.1. AIRES MEDITERRANEE	18
2.1.2. IMPACT DES ACTIVITES ANTHROPIQUES ET NATURELLES SUR LA PRODUCTION D'OZONE.....	18
2.2. ZONE D'ETUDE ET SCENARIOS MIS EN ŒUVRE.....	20
2.2.1. RESOLUTION TEMPORELLE ET SPATIALE	20
2.2.2. SCENARIOS SIMULES	20
2.3. SCENARIO DE REFERENCE.....	21
2.3.1. VALIDATION METEOROLOGIQUE	21
2.3.2. VALIDATION DE LA CHIMIE	23
2.4. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LA POLLUTION DE POINTE	27
2.4.1. OZONE	27
2.4.2. DIOXYDE D'AZOTE	29
2.5. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LA POLLUTION CHRONIQUE	30
2.5.1. OZONE	30
2.5.2. DIOXYDE D'AZOTE	31
3. CONCLUSION.....	32
4. REFERENCES	34
5. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	35
6. ANNEXES	37

1. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE POLLUANTS

1.1. METHODOLOGIE DE CALCUL DES EMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER

1.1.1. COPERT IV

Les émissions dues au trafic routier sont calculées en Provence-Alpes-Côte d’Azur avec l’outil CIRCUL’AIR, développé par l’ASPA. Il est basé sur la méthode de calcul européenne COPERT IV (EMEP Corinair, 2007).

CIRCUL’AIR permet de calculer les émissions annuelles des axes routiers en distinguant les parts des principaux types de véhicules (véhicules particuliers essence, diesel et GPL, véhicules utilitaires légers essence et diesel, poids lourds, motos, bus diesel et au gaz naturel et autocars). Ces émissions intègrent les émissions à chaud, les surémissions à froid, les surémissions dues à la pente de la route, les évaporations, les émissions dues à l’abrasion des freins, des pneus et de la route et la remise en suspension des particules.

Les données d’entrée sont les Trafics Moyens Journaliers Annuels (TMJA) par axe étudié. L’outil estime les trafics horaires à partir de clés temporelles (données SIREDO) à partir desquels est évaluée une vitesse horaire de circulation. Ces vitesses horaires sont alors intégrées dans les équations fournies par COPERT IV afin de calculer des émissions horaires. Enfin, les émissions sont agrégées afin d’obtenir un résultat annuel.

Le principe du calcul est schématisé en Annexe 1 : Principe de calcul de CIRCUL’AIR page 37.

1.1.2. INTEGRATION DES REDUCTIONS DE VITESSE DANS LE CALCUL D’EMISSIONS

La prise en compte d’une limitation de la vitesse autorisée sur un axe est possible dans CIRCUL’AIR grâce au paramètre « vitesse maximale autorisée ». Théoriquement, les véhicules ne dépassent jamais cette vitesse, même en situation de trafic fluide. La Figure 1 présente un exemple de profil horaire de vitesses sur une autoroute limitée à 130 km/h (courbe bleue) et l’impact de limitations de la vitesse maximale autorisée à 100 km/h (courbe orange) et à 70 km/h (courbe violette).

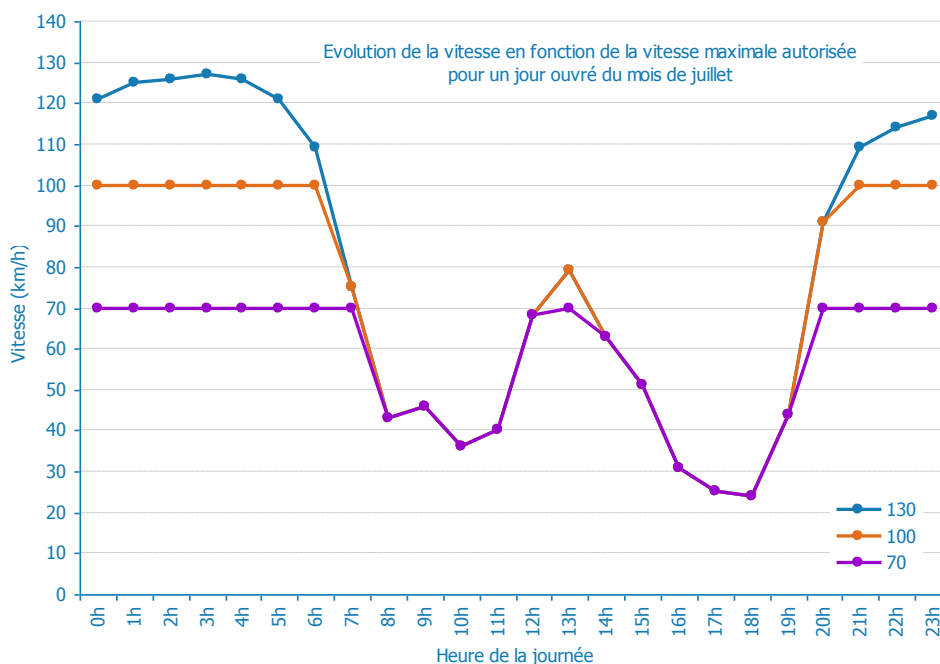


Figure 1 : Exemple de l’évolution de la vitesse en fonction de la vitesse maximale autorisée

Les calculs actuels ne prennent pas en compte un éventuel effet de la réduction de la vitesse sur les périodes de congestion. La modification de la vitesse maximale autorisée n'a donc qu'une influence sur la vitesse en situation de trafic fluide. Cette réduction de vitesse n'impacte pas les vitesses en heures de pointe, déjà plus faibles que la limitation de vitesse.

La Figure 2 présente, pour trois tests de vitesse maximale autorisée (130, 100 et 70 km/h), l'évolution horaire des émissions de COV au cours d'une journée type (jour ouvré d'un mois de juillet). Conformément à la figure précédente, la réduction de la vitesse maximale autorisée a un impact sur les émissions en dehors des heures de pointe pour lesquelles la vitesse de circulation, déjà inférieure à la nouvelle réglementation de vitesse, n'est pas modifiée.

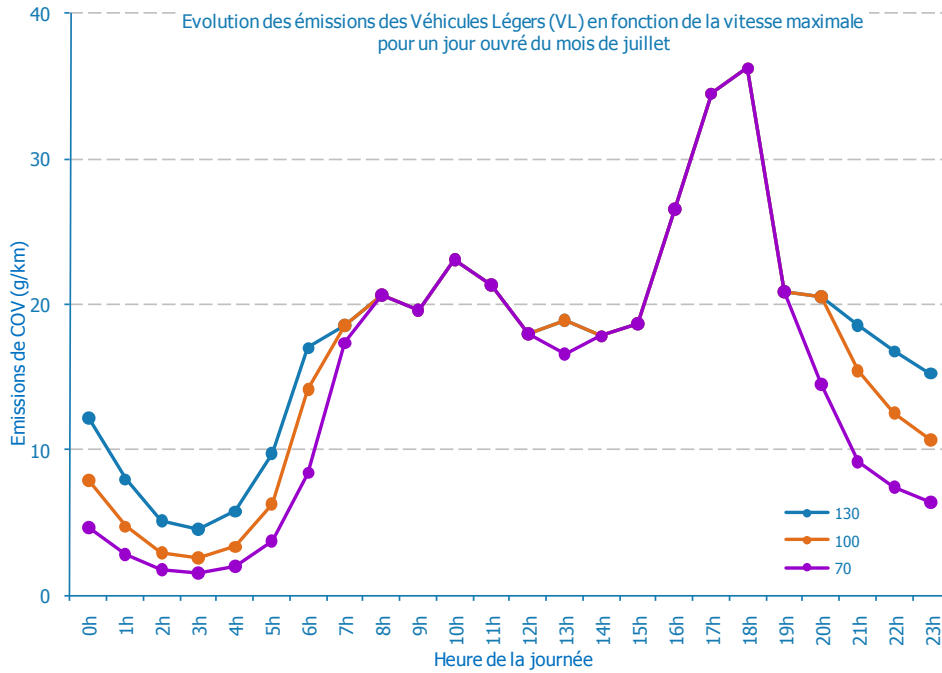


Figure 2 : Exemple d'évolution des émissions horaires de COV en fonction de la vitesse maximale autorisée

Les paragraphes suivants montrent les évolutions des émissions de benzène, NO_x, de particules, du CO et CO₂ pour une réduction de vitesse annuelle de 30 km/h.

1.2. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE BENZENE

1.2.1. RESULTATS

La réduction de la vitesse autorisée a pour effet une **augmentation de 511 kg** des émissions de benzène, soit :

- + 0,26 % des émissions de benzène sur les axes concernés,
- + 0,05 % des émissions de benzène dues au trafic routier sur la zone d'étude,
- + 0,03 % des émissions de benzène toutes activités confondues sur la zone d'étude.

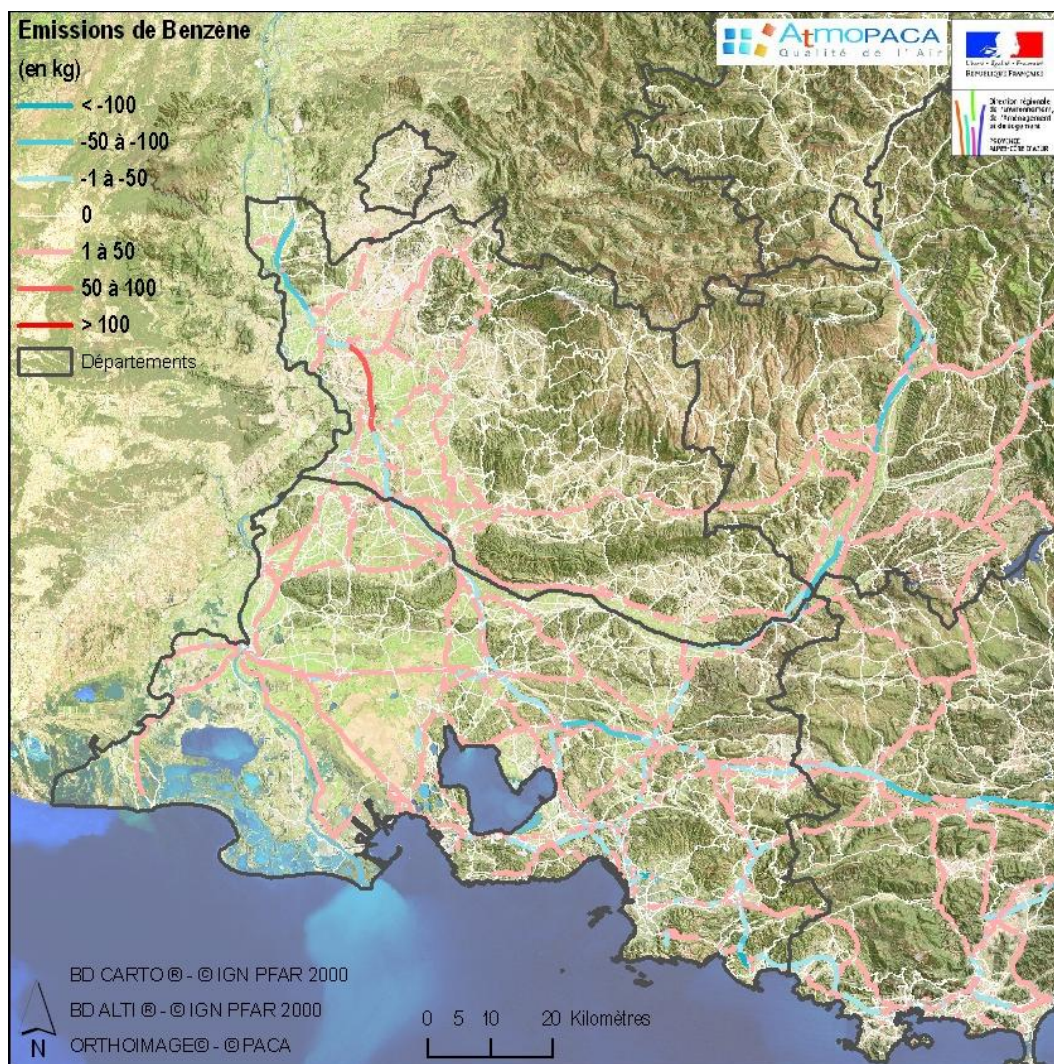


Figure 3 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de benzène

La réduction des émissions de benzène est effective sur les autoroutes initialement limitées à 130 km/h passant à 100 km/h. Sur les voies rapides limitées à 110 km/h, l'impact est peu important (légèrement positif ou négatif en fonction de la composition du trafic). Au contraire, les axes sur lesquels est observée une augmentation des émissions correspondent aux brins initialement limités à 90 km/h passant à 70 km/h.

Les cartographies d'impact sur les émissions de benzène (en masse et en pourcentage) par axe ou par maille sont disponibles en Annexe 2.

1.2.2. DISCUSSION

L'inventaire des émissions 2004 pour la région PACA indique une contribution du secteur des transports routiers à hauteur de 57 % pour les émissions de benzène.

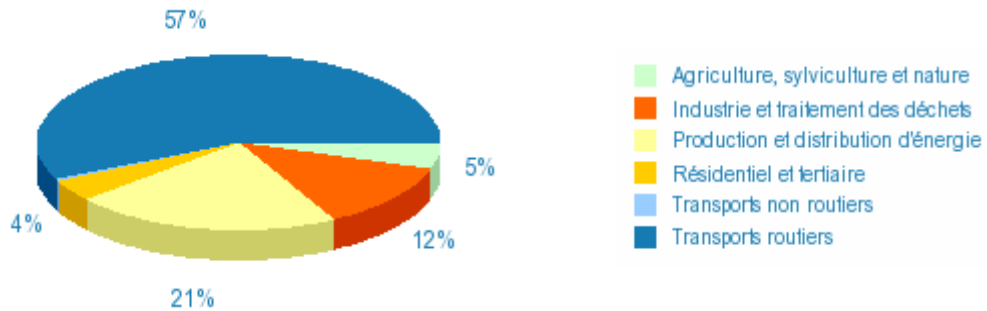


Figure 4 : Analyse sectorielle des émissions de benzène (inventaire PACA 2004)

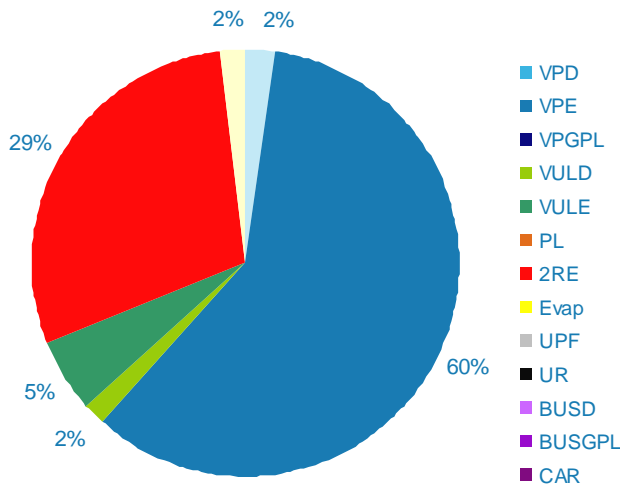


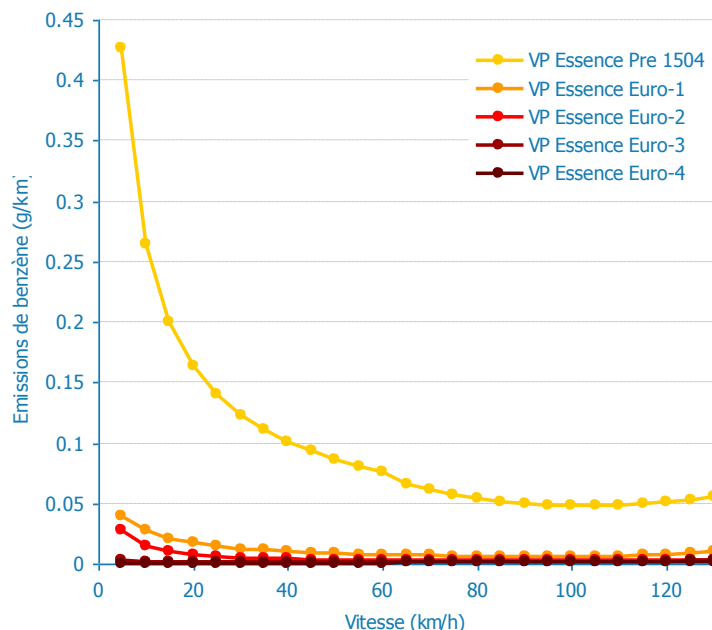
Figure 5 : Analyse des contributions des émissions de benzène des transports routiers par catégorie de véhicules

Parmi l'ensemble des véhicules, ce sont les véhicules essence qui contribuent majoritairement aux émissions de benzène (60 % des émissions de benzène proviennent des véhicules particuliers essence, 5 % des véhicules utilitaires légers essence, 29 % des deux-roues).

Les poids lourds, bus et cars roulent exclusivement au diesel. Leurs émissions de benzène sont très minoritaires et donc négligeables.

L'étude des émissions unitaires de benzène (véhicules particuliers essence) confirme l'évolution des baisses d'émissions avec les avancées technologiques. Les véhicules Pre-EURO 1-1504 (mise en circulation entre 1987 et 1992) émettent beaucoup plus de benzène que les véhicules issus des normes suivantes.

Figure 6 : Evolution des émissions unitaires de benzène en fonction de la vitesse (véhicules particuliers essence)



La pondération de ces émissions unitaires par rapport à la composition du parc automobile roulant permet l'évaluation des rejets réellement émis par cette catégorie de véhicule (estimation d'un VPE « moyen »). La composition du parc de VPE (source CITEPA) en 2006 et 2008 est présentée dans le Tableau 1 ci-dessous. Il indique la part non négligeable des véhicules PRE-Euro 1 (13 % du parc en 2006 et 9 % en 2008).

Catégorie de Véhicules Particuliers Essence (VPE)	Parc 2006	Parc 2008
Pre-Euro 1 / 1504 (1985 – 1992)	13 %	9 %
Euro 1 (1992 - 1996)	21 %	16 %
Euro 2 (1996 - 2000)	23 %	28 %
Euro 3 (2000 - 2005)	33 %	25 %
Euro 4 (2005 - 2010)	9 %	22 %

Tableau 1 : Composition du parc de VPE (parcs automobiles roulant 2006 et 2008, CITEPA)

La Figure 7 ci-après présente l'évolution des émissions de benzène en fonction de la vitesse pour un véhicule particulier essence moyen en 2006 et en 2008 :

- L'impact de la vitesse de circulation sur les émissions de benzène est important, principalement pour les basses vitesses (inférieures à 80 km/h) pour lesquelles les émissions de benzène sont d'autant plus fortes que la vitesse est réduite. Il s'agit notamment des situations encombrées, particulièrement favorables à ces émissions.
- Pour des gammes de vitesses plus rapides (entre 80 et 130 km/h), l'impact de la vitesse sur les émissions est beaucoup moins net. Une diminution de la vitesse des véhicules de 130 à 100 km/h entraîne un léger gain d'émissions. Par contre, si la réduction de vitesse porte sur des vitesses inférieures à 100 km/h, les émissions de benzène peuvent légèrement augmenter.

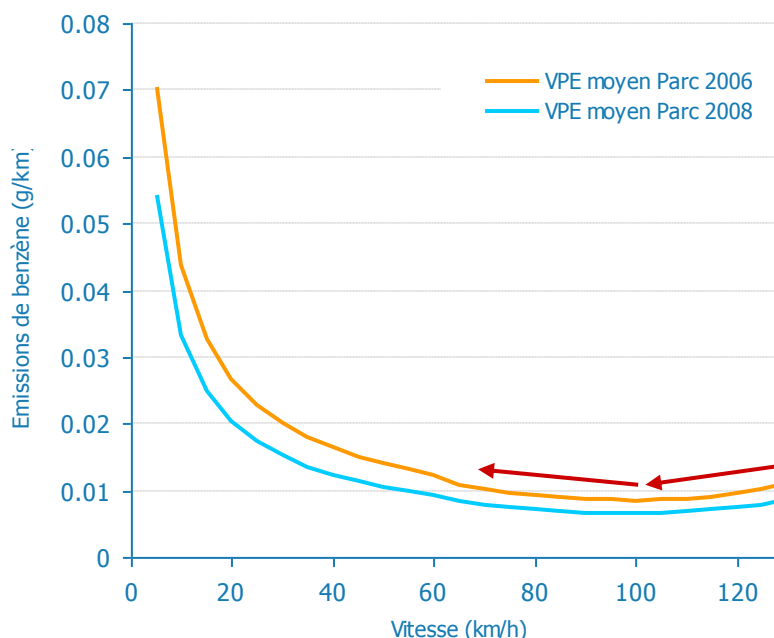


Figure 7 : Evolution des émissions de benzène avec la vitesse pour un véhicule particulier essence moyen en 2006 et en 2008

1.3. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE NO_x

1.3.1. RESULTATS

La réduction de la vitesse autorisée a pour effet une **diminution de 986 000 kg** des émissions de NO_x, soit :

- - 3,25 % des émissions de NO_x sur les axes concernés,
- - 0,77 % des émissions de NO_x dues au trafic routier sur la zone d'étude,
- - 0,39 % des émissions de NO_x toutes activités confondues sur la zone d'étude.

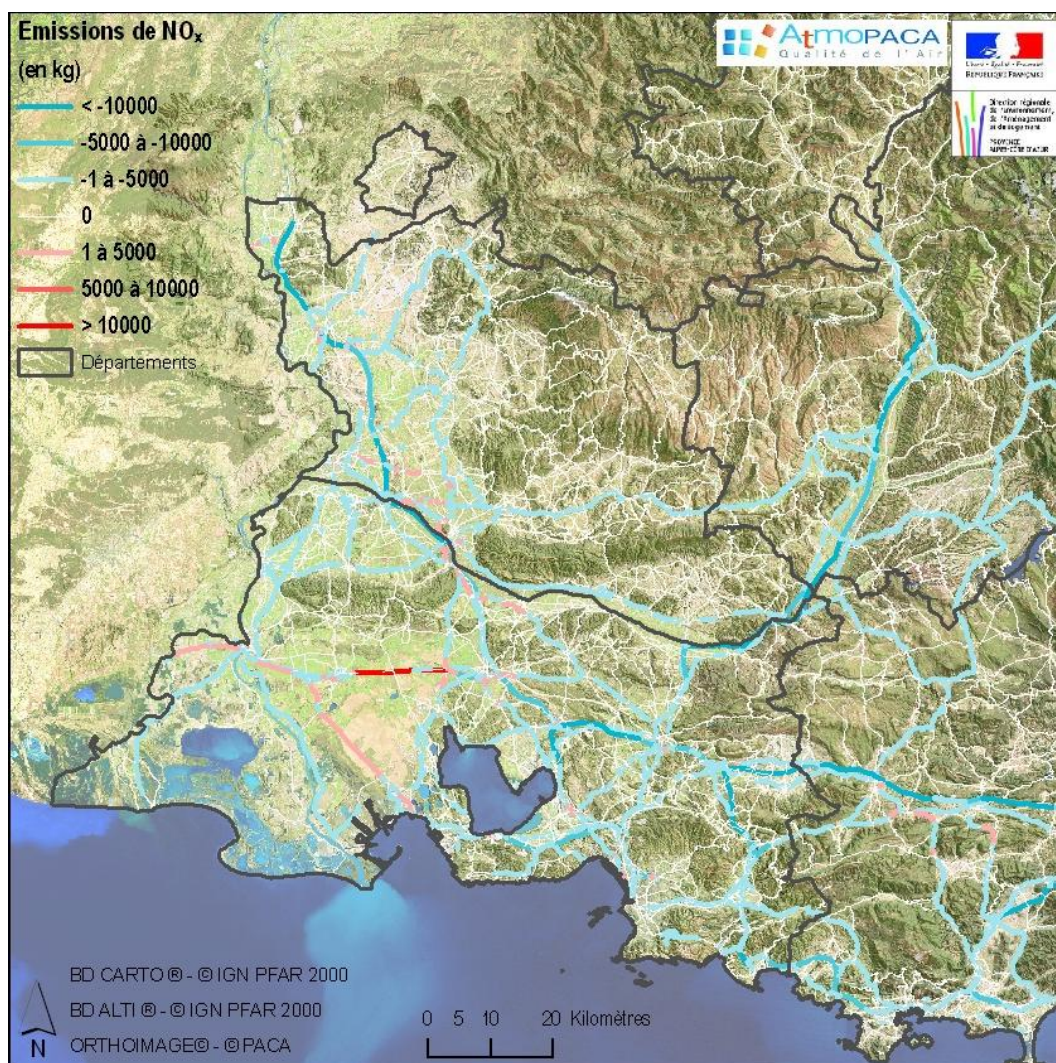


Figure 8 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions d'oxydes d'azote

Les réductions d'émissions d'oxydes d'azote sont maximales (jusqu'à -20 % sur certains tronçons) sur des autoroutes limitées initialement à 130 km/h et dont la vitesse maximale autorisée est réduite à 100 km/h ainsi que sur les axes rapides limités à 110 km/h. Sur ces axes, le pourcentage de poids lourds est limité (< 7 %).

Sur les routes initialement à 90 km/h, les émissions de NO_x diminuent en plus faible proportion (< 10 %). Sur ces axes, le pourcentage de poids lourds est encore plus restreint (< 5 %).

C'est sur les axes identiques mais avec un pourcentage de poids lourds plus important que l'impact sur les émissions de NO_x est le plus faible voire que l'on peut constater une augmentation des émissions d'oxydes d'azote.

Les cartographies d'impact sur les émissions de NO_x (en masse et en pourcentage) par axe ou par maille sont disponibles en Annexe 3.

1.3.2. DISCUSSION

En région PACA, plus de la moitié des émissions d'oxydes d'azote est due aux transports routiers (source inventaire 2004, version 2009).

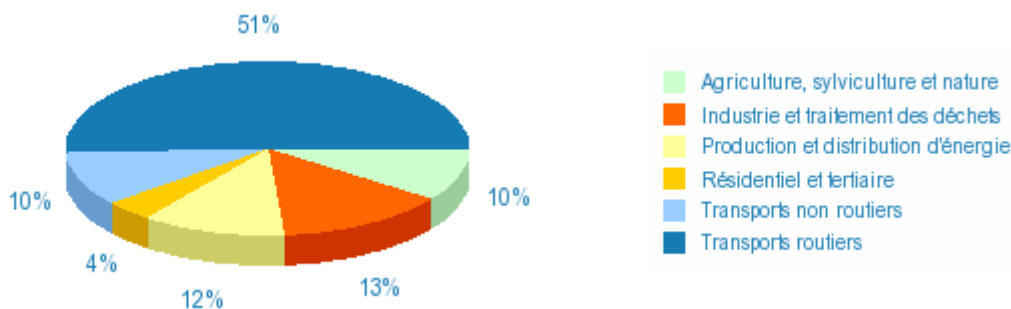
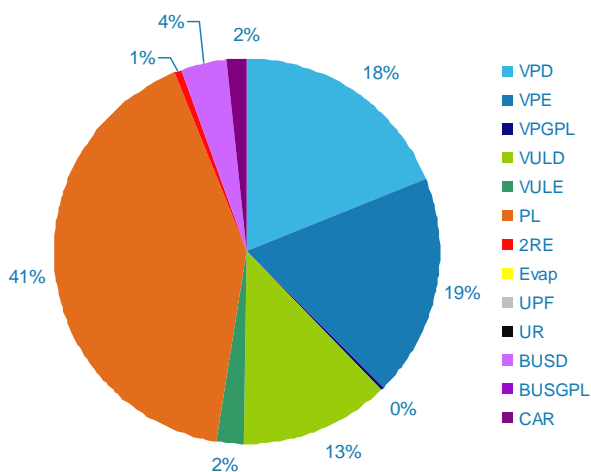


Figure 9 : Analyse sectorielle des émissions de NO_x (inventaire PACA 2004)



La Figure 10 détaille les émissions de NO_x des transports routiers par catégorie de véhicules. **Les poids lourds sont les plus gros émetteurs (41 % des NO_x en PACA en 2004)** puis viennent les véhicules particuliers essence (19 %) et diesel (18 %) et les véhicules utilitaires légers diesel (13 %).

Figure 10 : Analyse des contributions des émissions d'oxydes d'azote des transports routiers par catégorie de véhicules

Les améliorations technologiques apportées par l'évolution des normes EURO sont visibles avec une réduction générale des émissions de NO_x pour les véhicules les plus récents. Le détail de ces émissions unitaires est présenté en Annexe 7.

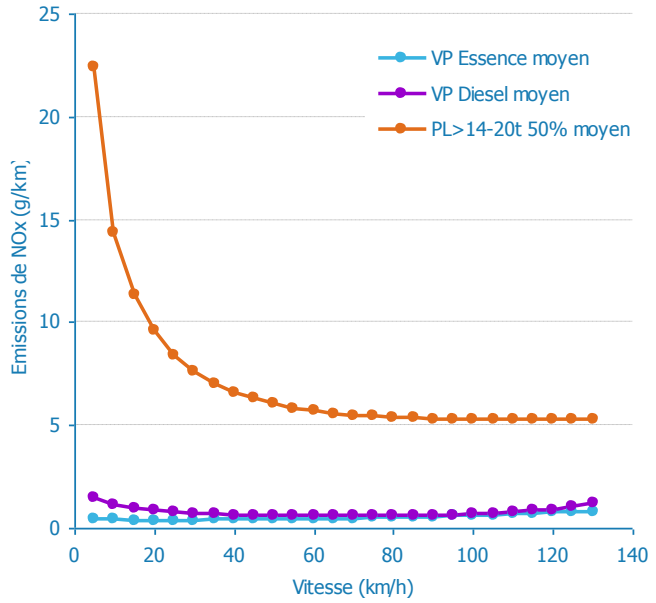
De la même manière que dans le paragraphe précédent, ces émissions unitaires sont croisées avec la composition du parc automobile roulant afin de tenir compte de l'ensemble de la flotte en circulation et estimer les émissions rejetées par un véhicule « moyen ».

Parc automobile roulant 2006	Poids Lourds	VP Diesel
Conventionnel (< 1992)	2,5 %	8 %
Euro 1 (1992 - 1996)	7,6 %	15 %
Euro 2 (1996 - 2000)	36,4 %	25 %
Euro 3 (2000 - 2005)	53,4 %	46 %
Euro 4 (2005 - 2010)	0,0 %	16 %

Tableau 2 : Composition du parc de poids lourds et VPD (parcs automobiles roulant 2006, CITEPA)

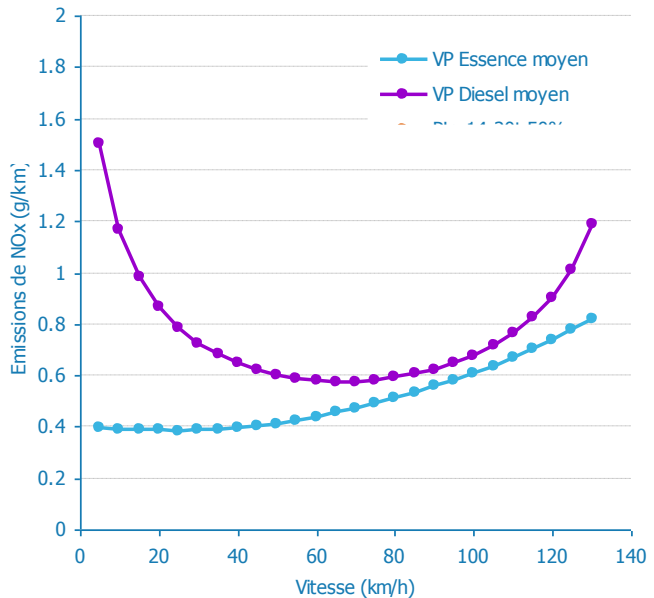
Les poids lourds sont les véhicules les plus émetteurs d'oxydes d'azote. D'une manière générale, les émissions augmentent avec une réduction de la vitesse. Cette variation est d'autant plus marquée pour des vitesses faibles. Pour des vitesses supérieures à 100 km/h, la variation de la vitesse impacte peu les émissions des poids lourds.

Figure 11 : Evolution des émissions de NO_x avec la vitesse pour un VPE, un VPD et un Poids Lourd moyens selon le parc automobile en 2006



La figure ci-contre zoome sur les émissions unitaires rejetées par les véhicules particuliers, essence et diesel. Les émissions de NO_x diminuent lorsque la vitesse est réduite entre 130 et 70 km/h.

Figure 12 : Evolution des émissions de NO_x avec la vitesse pour un VPE, un VPD moyens selon le parc automobile en 2006



Les courbes d'émissions de NO_x en fonction de la vitesse ne présentent pas le même profil selon qu'il s'agit de véhicules particuliers ou de poids lourds. La composition du trafic sur un axe est donc un facteur important de l'impact d'une mesure de réduction de vitesse sur la variation des émissions d'oxydes d'azote.

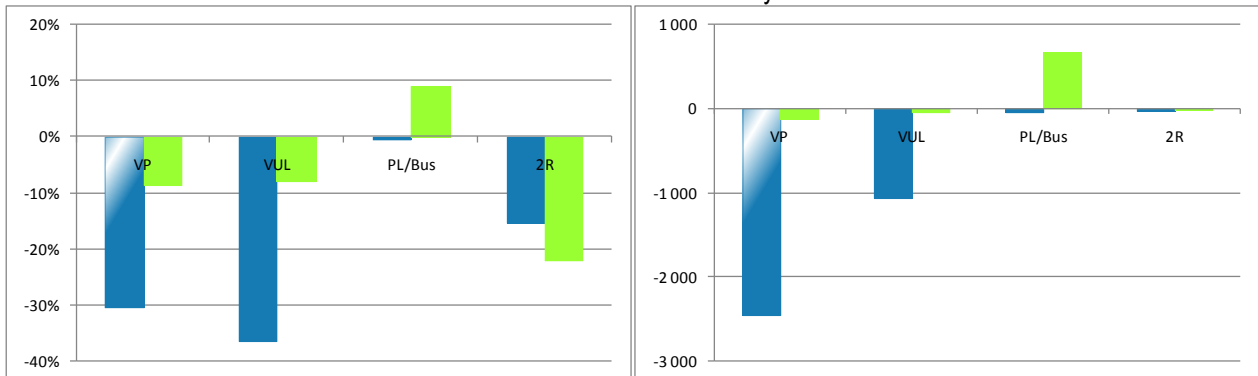


Figure 13 : Impact de la réduction de la vitesse sur les émissions de NO_x (en % et en kg) par catégories de véhicules sur un axe limité à 130 km/h avec 6 % PL (en bleu) et une route limitée à 90 km/h avec 20 % PL (en vert)

L'A55 atteint une diminution de -20 % de NO_x (- 4 tonnes) alors que sur la N572, fortement fréquentée par les poids lourds, les émissions augmentent de 6 % (+ 0,5 tonne).

1.4. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE PARTICULES

1.4.1. RESULTATS

La réduction de la vitesse autorisée a pour effet une **diminution de 85 000 kg** des émissions de PM10, soit :

- - 3,46 % des émissions de PM10 sur les axes concernés,
- - 0,71 % des émissions de PM10 dues au trafic routier sur la zone d'étude,
- - 0,21 % des émissions de PM10 toutes activités confondues sur la zone d'étude.

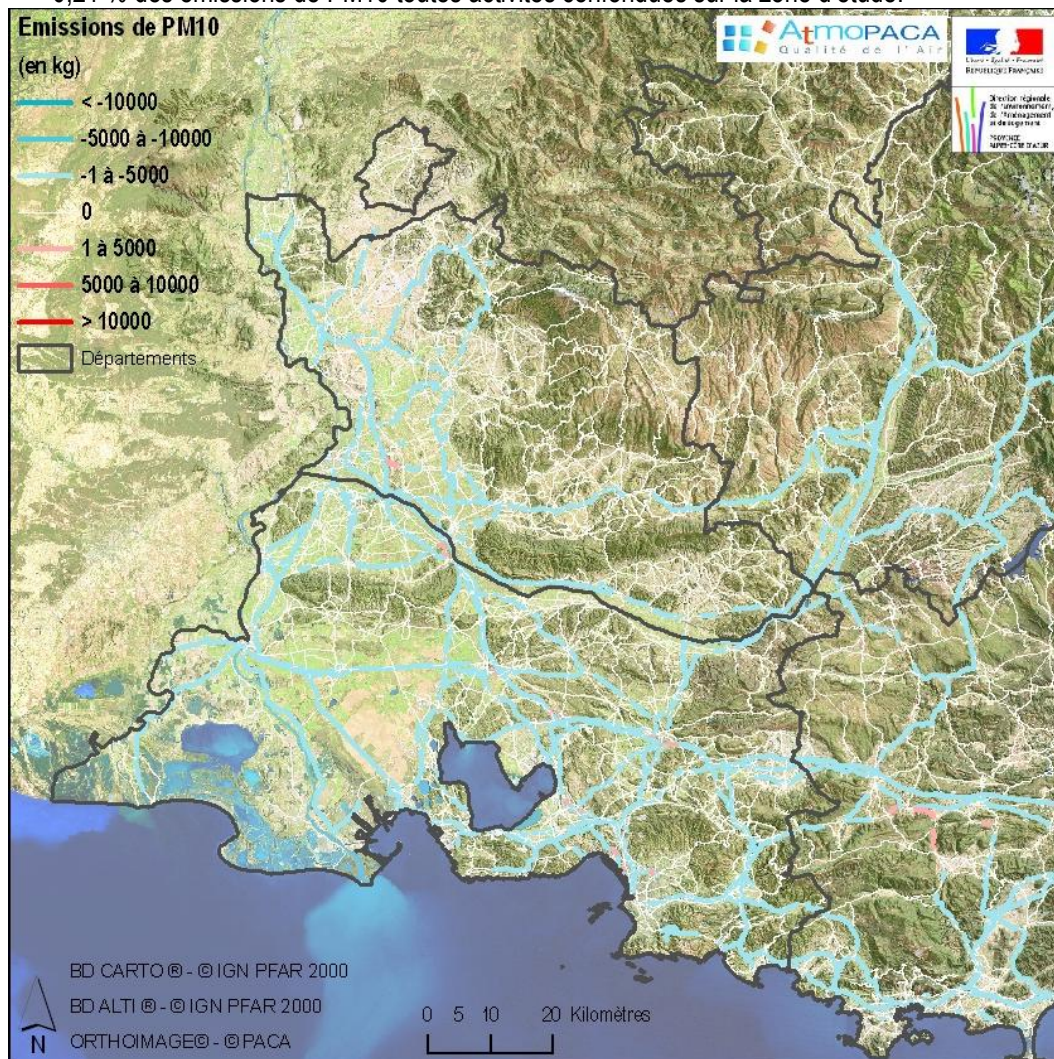


Figure 14 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de PM10

Les axes qui présentent la plus importante diminution des émissions de PM10 sont des autoroutes initialement limitées à 130 km/h ainsi que les axes à 110 km/h. Cette réduction des émissions de PM10 est d'autant plus importante que le trafic comprend une faible part de poids lourds (une limitation de la vitesse de 130 à 100 ne modifie pas la vitesse de circulation des PL donc l'impact est d'autant plus important si le trafic est composé de VP). Cette baisse d'émission peut atteindre localement -15 à -20 % si PL < 7 %, -10 % si PL > 10 %.

La baisse des PM10 peut atteindre localement 10 % sur des routes initialement limitée à 90 km/h avec, cette fois ci, peu de poids lourds. En effet, les émissions des PL ré-augmentent de 80 à 70 km/h. Une très faible proportion des routes indique une augmentation des émissions de PM10.

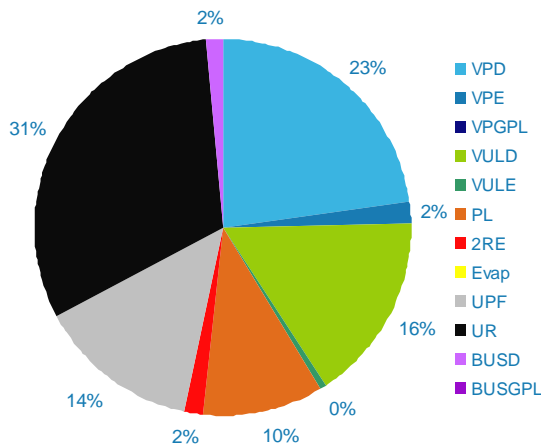
Les cartographies d'impact sur les émissions de particules (en masse et en pourcentage) par axe ou par maille sont disponibles en Annexe 4.

1.4.2. DISCUSSION

D'après l'inventaire régional des émissions 2004, 54 % des émissions de PM10 sont rejetées par le secteur des transports routiers. Parmi ces émissions sont considérées les rejets de particules dus à la combustion mais aussi toutes les émissions dues à l'abrasion des freins, des pneus et à l'usure de la route ainsi qu'à la remise en suspension.



Figure 15 : Analyse sectorielle des émissions de PM10 (Inventaire PACA 2004)



La Figure 16 détaille ces émissions par catégorie de véhicules. **Les véhicules diesel sont les principaux émetteurs de particules** (23 % pour les VP, 16 % pour les VUL et 10 % pour les PL).

Les **émissions de particules non issues de combustions représentent une part importante** (14 % sont dus à l'usure des pneus et des freins, 31 % à l'usure de la route et remise en suspension).

Figure 16 : Analyse des contributions des émissions de PM10 des transports routiers par catégorie de véhicules

Comme pour les autres polluants, les émissions unitaires ont été calculées pour des véhicules « moyens » tenant compte de la composition du parc automobile (le détail des émissions est présenté en Annexe 8) :

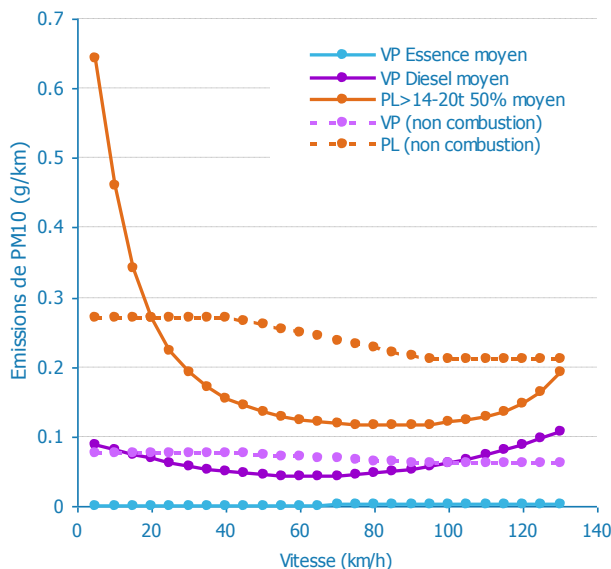


Figure 17 : Evolution des émissions de particules avec la vitesse par catégorie de véhicules

Les véhicules qui émettent des particules sont les poids lourds et les VP diesel.

Entre 130 et 80 km/h, les émissions dues à la combustion (en traits pleins) diminuent pour les 2 catégories de véhicules. De 80 à 70 km/h, les émissions des PL réaugmentent légèrement.

D'après les équations de calcul des émissions non dues à la combustion (courbes en pointillés), celles-ci ont tendance à stagner (voire augmenter pour les poids lourds) lors d'une réduction de la vitesse de circulation. Le détail de l'évolution des émissions de particules par secteur est présenté en Annexe 9.

1.5. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO

1.5.1. RESULTATS

La réduction de la vitesse autorisée a pour effet une **diminution de 2 476 tonnes** des émissions de CO, soit :

- - 5,47 % des émissions de CO sur les axes concernés,
- - 0,58 % des émissions de CO dues au trafic routier sur la zone d'étude,
- - 0,26 % des émissions de CO toutes activités confondues sur la zone d'étude.

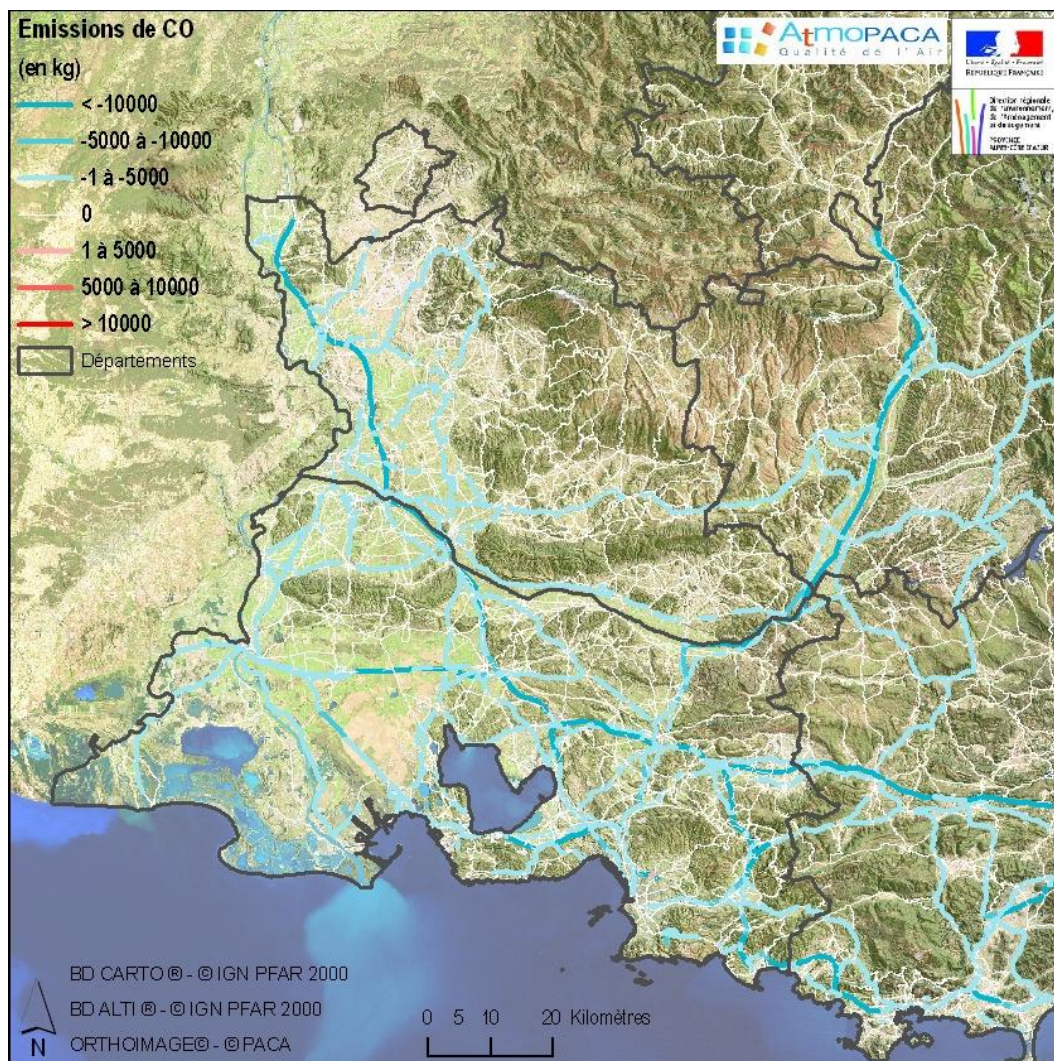


Figure 18 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de CO

Les émissions de CO diminuent sur la totalité des axes concernés par une mesure de réduction de vitesse. D'une manière générale, les gains d'émissions de CO sont maximaux sur les autoroutes initialement limitées à 130 km/h ou 110 km/h et peuvent atteindre jusqu'à - 40 % localement.

Sur les routes dont la limite de vitesse, initialement 90 km/h, devient 70 km/h, la baisse des émissions de CO est moindre, de - 10 % à quelques %.

Les cartographies d'impact sur les émissions de CO (en masse et en pourcentage) par axe ou par maille sont disponibles en Annexe 5.

1.6. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO₂

1.6.1. RESULTATS

La réduction de la vitesse autorisée a pour effet une **diminution de 142 850 tonnes** des émissions de CO₂, soit :

- - 3,13 % des émissions de CO₂ sur les axes concernés,
- - 1,10 % des émissions de CO₂ dues au trafic routier sur la zone d'étude,
- - 0,30 % des émissions de CO₂ toutes activités confondues sur la zone d'étude.

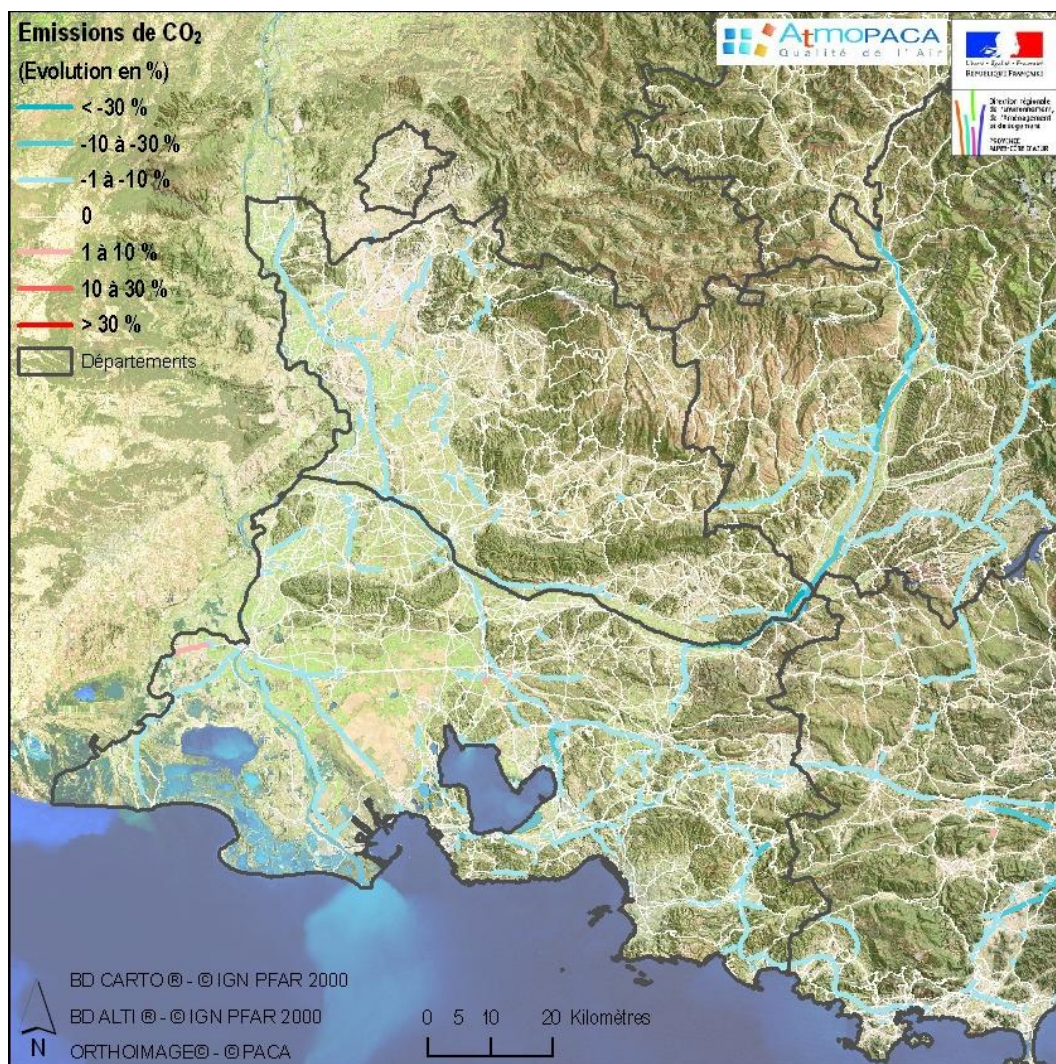


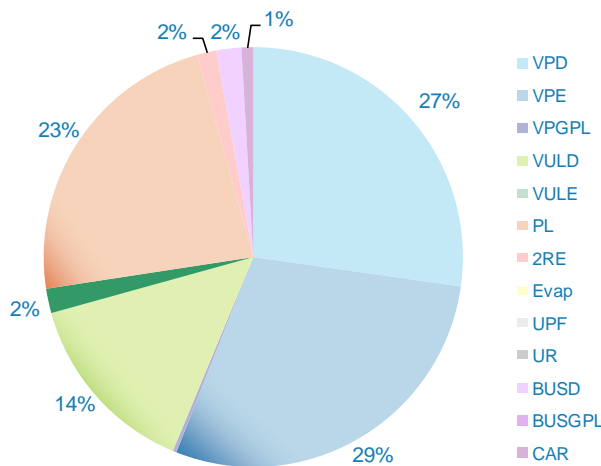
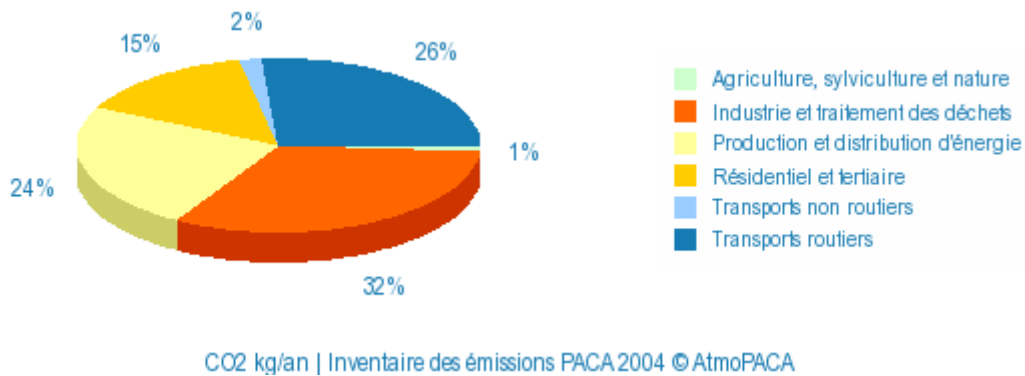
Figure 21 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ diminuent majoritairement sur les axes rapides. Sur les autoroutes initialement limitées à 130 km/h, ainsi que sur les voies limitées à 110 km/h, le gain peut atteindre jusqu'à - 20 % sur certains axes. Sur ces axes en particulier, le pourcentage de poids lourds est faible (la limitation de la vitesse maximale autorisée n'affecte pas la vitesse de circulation des poids lourds qui roulent déjà à 100 km/h).

Les cartographies d'impact sur les émissions de CO₂ (en masse et en pourcentage) par axe ou par maille sont disponibles en Annexe 10.

1.6.2. DISCUSSION

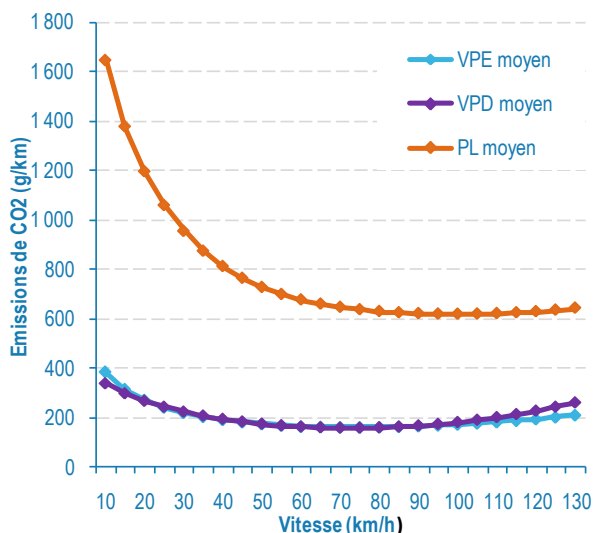
D'après l'inventaire régional des émissions 2004, les émissions de dioxyde de carbone sont émises à 26 % par le secteur des transports routiers.



L'ensemble des véhicules contribue aux émissions de CO₂, ces émissions sont directement dépendantes de la quantité de carburant consommée.

Les véhicules particuliers, essence et diesel, émettent plus de 50 % des émissions de CO₂ dues au trafic routier. Les poids lourds contribuent au quart de ces émissions (PACA, 2004).

Figure 22 : Analyse des contributions des émissions de CO₂ des transports routiers par catégorie de véhicules



De 130 à 70 km/h, les émissions de CO₂ des véhicules diminuent sauf pour les poids lourds pour lesquels on constate une légère augmentation des émissions de CO₂ entre 90 et 70km/h.

La mesure de réduction de vitesse n'engendre généralement pas d'augmentation des consommations de carburant et donc pas de surémission de CO₂, sauf sur certains axes avec un fort pourcentage de poids lourds pour lesquels la vitesse a été réduite à 70 km/h.

Figure 23 : Evolution des émissions de CO₂ avec la vitesse pour trois types de véhicules

2. MODELISATION

2.1. INTRODUCTION

2.1.1. AIRES MEDITERRANEE

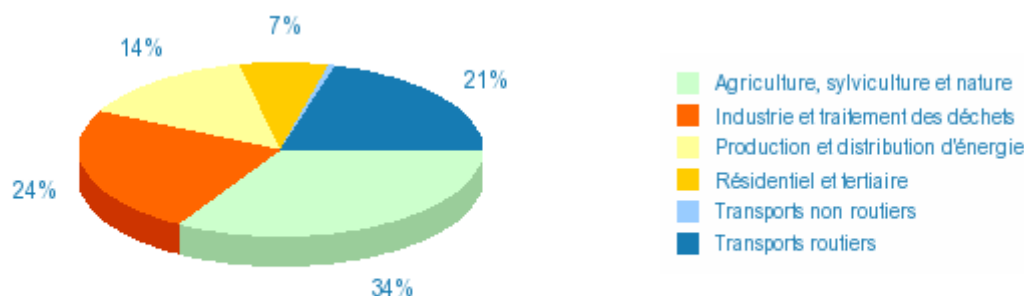
La plateforme de modélisation AIRES Méditerranée (www.aires-mediterranee.org) fournit une prévision quotidienne de la qualité de l'air à l'échelle régionale pour plusieurs polluants : ozone, oxydes d'azote et particules. Elle possède, en parallèle, un mode de fonctionnement de type scénario.

AIRES Méditerranée est composée d'un modèle météorologique couplé à un modèle de chimie-transport :

- **WRF** (Skamarock W., 2008) est un modèle météorologique méso-échelle développé principalement par le National Center for Atmospheric Research (NCAR) ;
- **CHIMERE** (Bessagnet et al., 2004) est un modèle chimie-transport multi-échelle développé par l'Institut Pierre-Simon Laplace, l'INERIS, le LISA et le CNRS.

2.1.2. IMPACT DES ACTIVITES ANTHROPIQUES ET NATURELLES SUR LA PRODUCTION D'OZONE

L'ozone est un polluant secondaire qui résulte de la transformation de polluants émis sous l'effet du rayonnement solaire. Les activités anthropiques sont émettrices de divers polluants. Cependant, la végétation constitue également une source d'émissions naturelles de COV. Dans les Bouches-du-Rhône, les sources naturelles peuvent émettre 34 % des COVNM (inventaire des émissions 2004). Au total en région PACA, leur contribution peut atteindre 60 %. Toutefois, ces émissions sont généralement diffuses et réparties de manière relativement homogène (à la différence des rejets anthropiques très localisés).



COVNM kg/an | Inventaire des émissions PACA 2004 © AtmoPACA

Figure 24 : Analyse sectorielle des émissions de COVNM dans les Bouches-du-Rhône (2004)

Les scénarios suivants ont été testés pour évaluer et comparer le rôle des activités anthropiques et le rôle des sources naturelles de COV sur la production d'ozone :

- **Scénario BIO1** : dans un premier temps, les émissions anthropiques sont supprimées et seules les émissions biotiques (issues de la végétation) sont conservées ;
- **Scénario BIO2** : à l'inverse du scénario BIO1, les émissions biotiques sont supprimées et seules les émissions anthropiques sont conservées.

Les résultats sont présentés en Figure 25. Les émissions anthropiques seules produisent plus d'ozone troposphérique que les émissions naturelles seules. Toutefois, c'est bien l'association de l'ensemble des sources d'émissions, précurseurs d'origine humaine associés aux composés organiques volatils émis par les essences végétales, qui génère une intensification de la pollution photochimique.

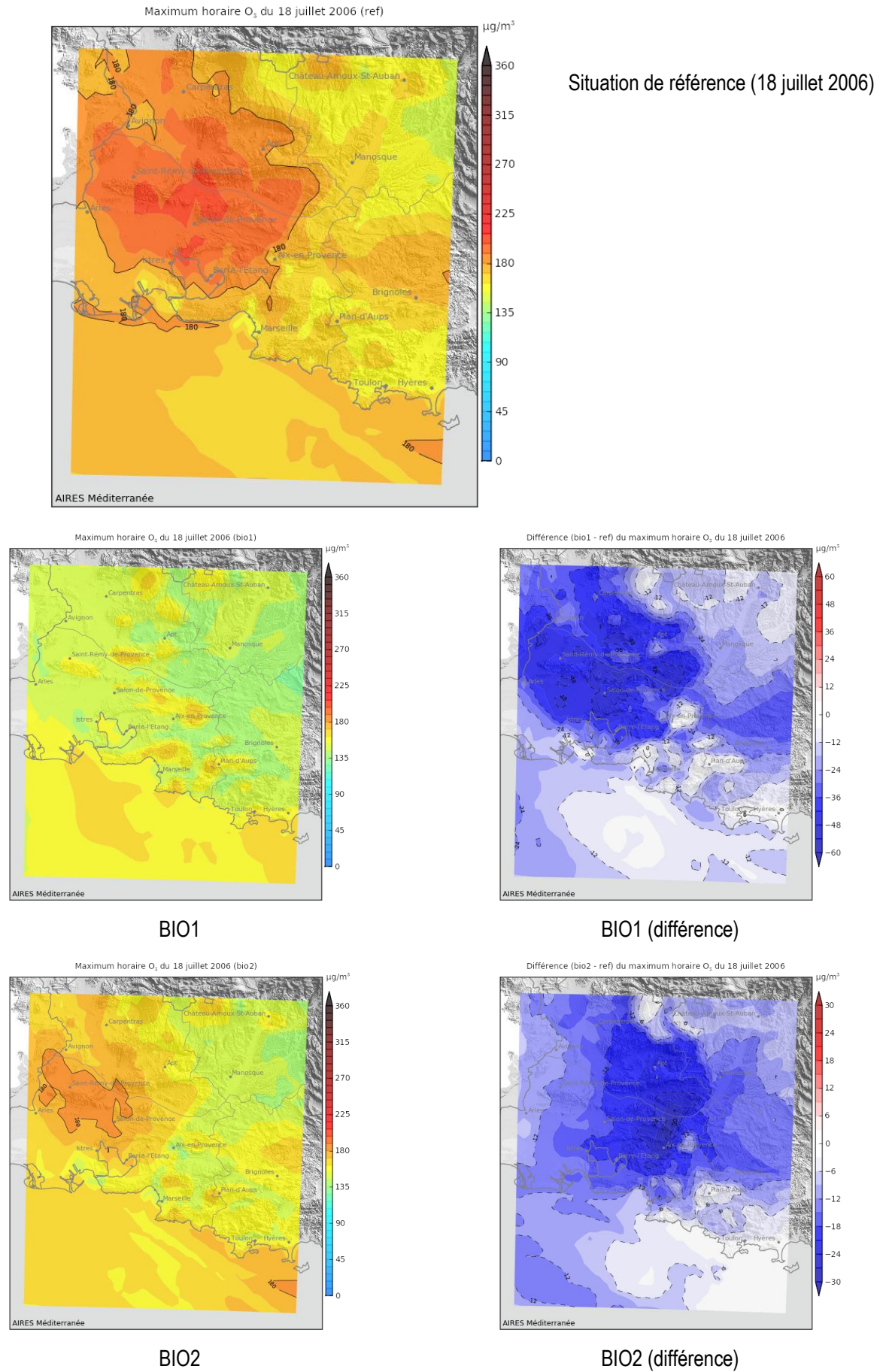


Figure 25 : Contribution des émissions anthropiques et naturelles sur la production d'ozone

2.2. ZONE D'ETUDE ET SCENARIOS MIS EN ŒUVRE

2.2.1. RESOLUTION TEMPORELLE ET SPATIALE

La période du 2 mai au 30 septembre 2006 (soit 153 jours) a été choisie pour modéliser l'impact de la réduction de vitesse sur la qualité de l'air. Un nombre important de jours de pollution ont été constatés pendant l'été 2006. Les mesures d'urgences ont été appliquées pendant 20 jours durant le mois de juillet.

Le domaine géographique retenu est le domaine « ESCOMPTE » de 135 km x 150 km pour une résolution horizontale de 3 km centré sur Marseille et l'Etang de Berre. Ce domaine reprend le nom du programme ESCOMPTE dont l'objectif a été d'améliorer et valider les modèles numériques régionaux de chimie-transport après une campagne de mesure intensive réalisée au cours de l'été 2001 (Cros et al., 2004).

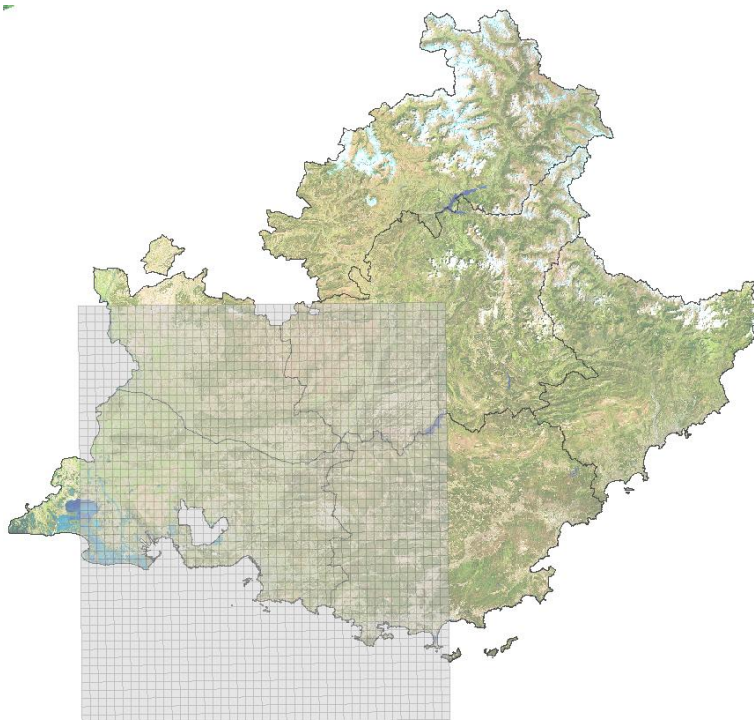


Figure 26 : Localisation du domaine « Escompte »

2.2.2. SCENARIOS SIMULES

Trois modélisations ont été effectuées :

- le **scénario de référence REF** avec l'utilisation du cadastre d'émissions PACA 2004 (5 mois d'été : mai à septembre 2006);
- le **scénario RV1** représente la situation où la mesure de réduction de vitesse est appliquée en permanence pendant les 5 mois d'été 2006 modélisés. Les émissions proviennent du nouveau cadastre calculé précédemment ;
- le **scénario RV2** prend également en compte les émissions issues du calcul avec la réduction de vitesse, mais uniquement pendant les 20 jours où les mesures d'urgence ont été déclenchées. Le reste du temps, les émissions proviennent du cadastre d'émissions PACA 2004. Le récapitulatif des concentrations d'ozone observées en 2006 est en Annexe 11.

2.3. SCENARIO DE REFERENCE

Une comparaison entre observations et modélisation a été effectuée sur la modélisation de référence afin de valider les modèles WRF et CHIMERE pour l'été 2006.

2.3.1. VALIDATION METEOROLOGIQUE

Le résultat de la modélisation avec WRF a été comparé avec les observations des 19 stations Météo-France présentes sur le domaine. Environ 6 500 couples de valeurs observées / valeurs modélisées ont été utilisés pour le calcul du biais et du coefficient de corrélation linéaire.

TEMPERATURE A 2 METRES

Le biais obtenu pour la variable de température à 2 mètres varie de -1,3 à 0,2 °C selon les stations. En moyenne, il est de -0,8 °C. Le coefficient de corrélation linéaire varie de 0,84 à 0,96 selon les stations. Il est de 0,92 pour l'ensemble des stations.

Les températures à 2 mètres sont ainsi très bien reproduites par le modèle WRF.

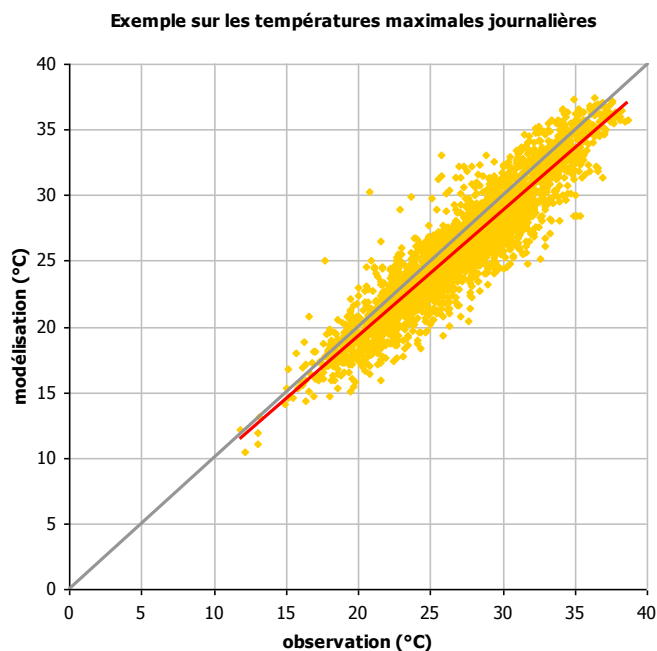


Figure 27 : Comparaison observation / modélisation des températures maximales journalières sur l'ensemble des stations météo du domaine

La Figure 29 indique que la variabilité horaire de la température à la station d'Aix-en-Provence est également correctement reproduite par le modèle.

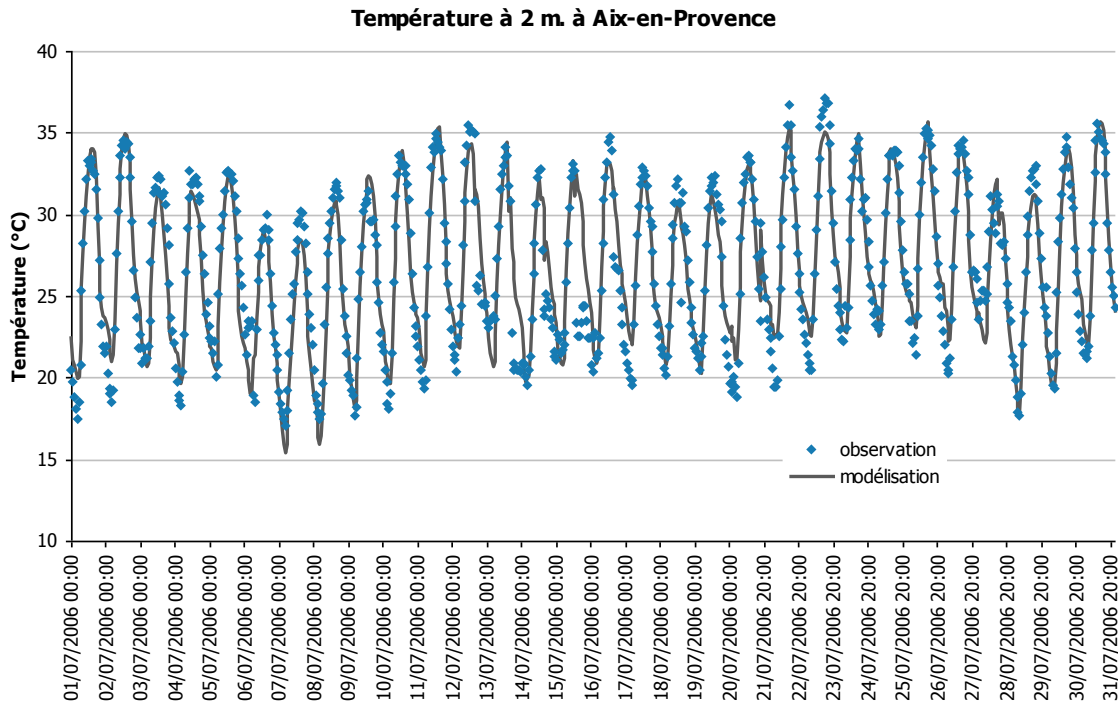


Figure 28 : Variation horaire de la température à 2 mètres sur la station d'Aix-en-Provence

VITESSE DU VENT A 10 METRES

Le biais obtenu pour la vitesse du vent varie de -1,14 m/s à 2,22 m/s selon les stations. Le biais moyen sur l'ensemble des stations est de 0,63 m/s. Le coefficient de corrélation varie de 0,62 à 0,84 selon les stations. Il est de 0,72 en moyenne.

Le modèle WRF reproduit les vitesses du vent de façon satisfaisante.

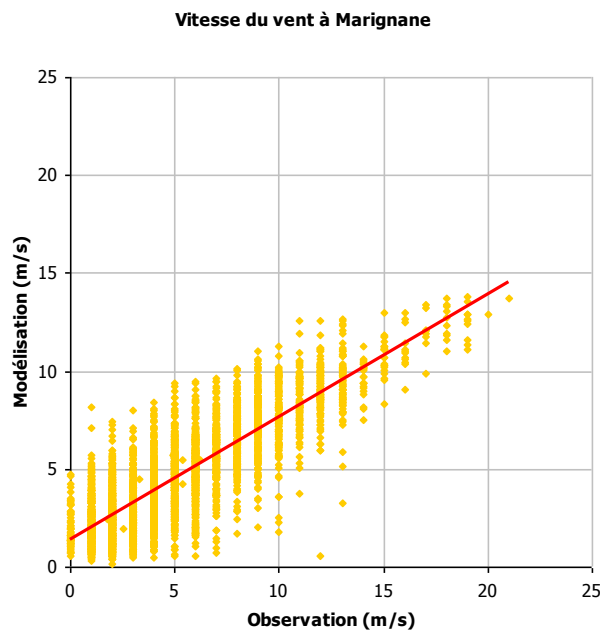


Figure 29 : Comparaison observation / modélisation des vitesses du vent à 10 mètres à la station de Marignane

2.3.2. VALIDATION DE LA CHIMIE

OZONE

La comparaison entre le résultat de la modélisation avec CHIMERE et les concentrations observées aux 29 stations d'Atmo PACA et Airfobep a été réalisée sur les 3 332 maximums journaliers de la période étudiée.

Le biais varie de -13 à 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selon les stations. Il est de -2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ensemble des stations du domaine. Le coefficient de corrélation varie de 0,7 à 0,88 selon les stations. Il est de 0,79 en moyenne.

CHIMERE reproduit de façon satisfaisante les maximums journaliers en ozone sur la période donnée. Toutefois, le modèle a tendance à surestimer les faibles valeurs et à sous-estimer les fortes valeurs. Les fortes valeurs observées (311 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Rognac le 2 juillet 2006, 308 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Vitrolles le 11 juillet 2006, 327 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Vitrolles le 26 juillet 2006) ne sont pas reproduites. CHIMERE ne modélise pas de concentration en ozone supérieure à 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

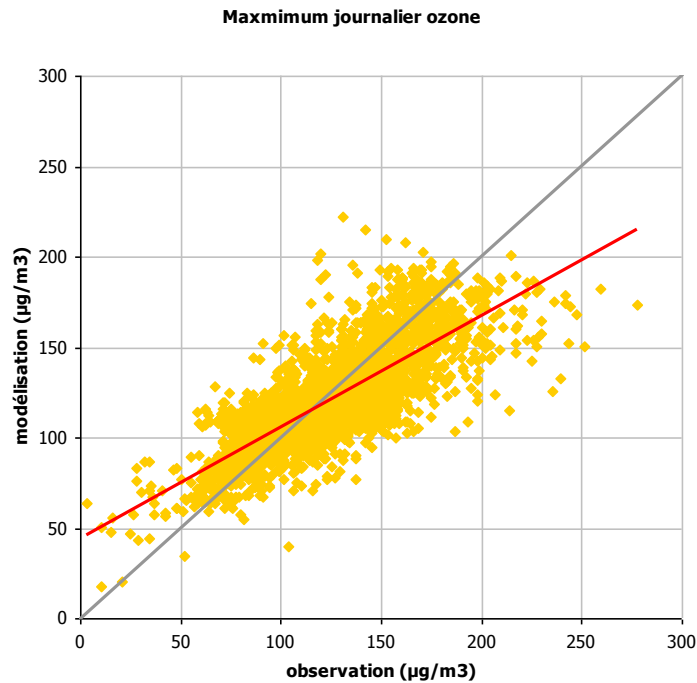


Figure 30 : Comparaison observation / modélisation des maximums journaliers en ozone sur l'ensemble des stations du domaine

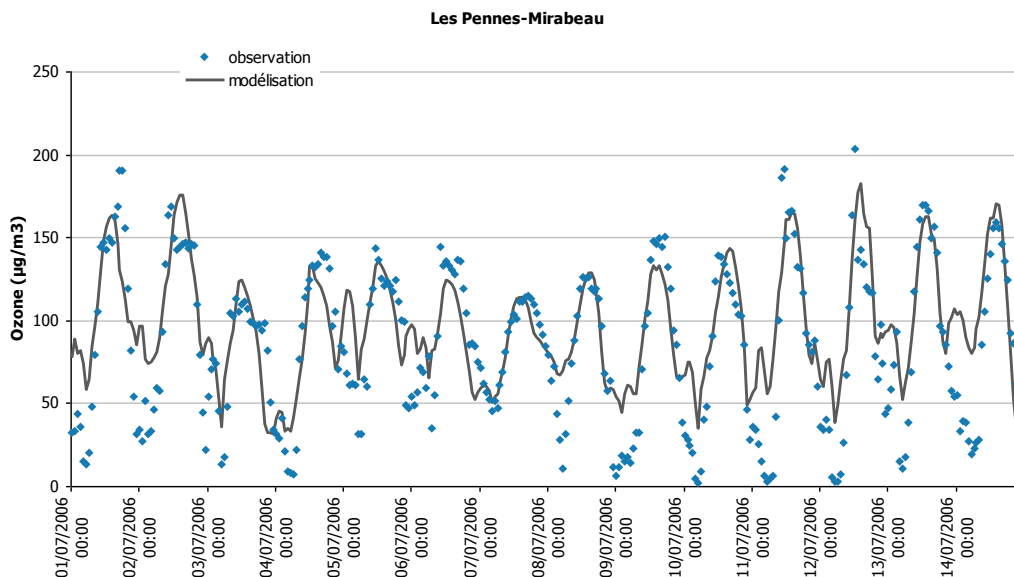


Figure 31 : Variation horaire de la concentration en ozone à la station des Pennes-Mirabeau

Les cartes ci-dessous représentent les maximums horaires en ozone pour les journées des 15, 17 et 18 juillet 2006. Ces 3 journées (sur les 153 modélisées) sont présentées ici en exemple, accompagnées des valeurs mesurées aux stations. Ces cartes confirment la restitution correcte de la distribution spatiale des concentrations en ozone par le modèle.

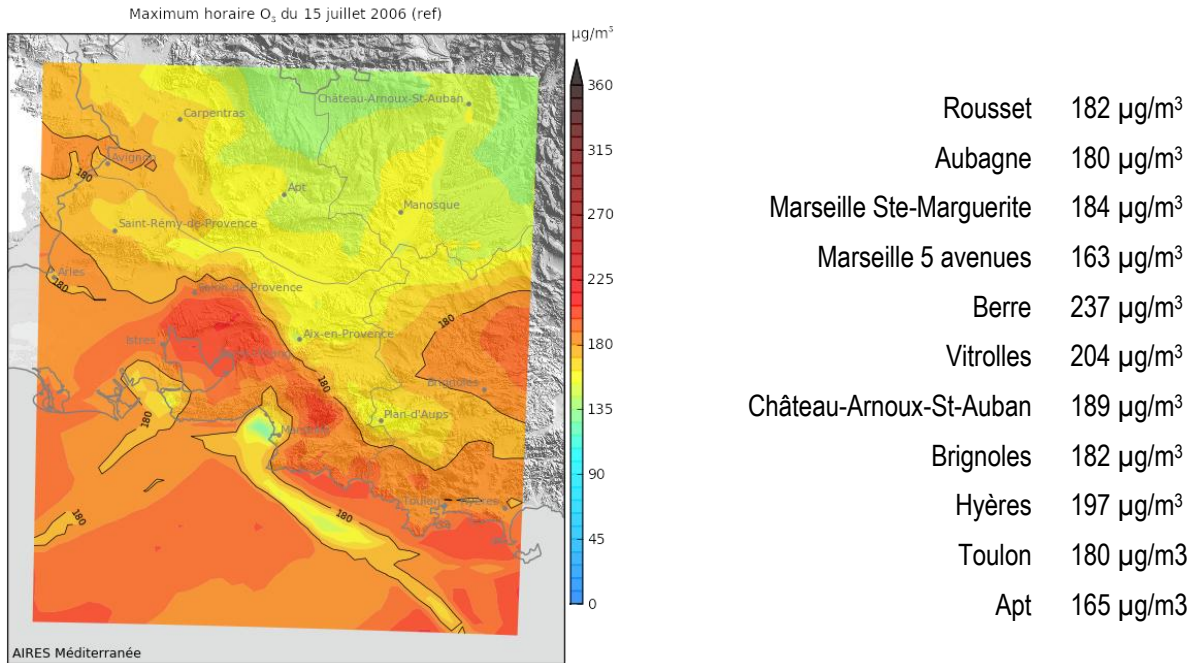


Figure 32 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 15 juillet 2006

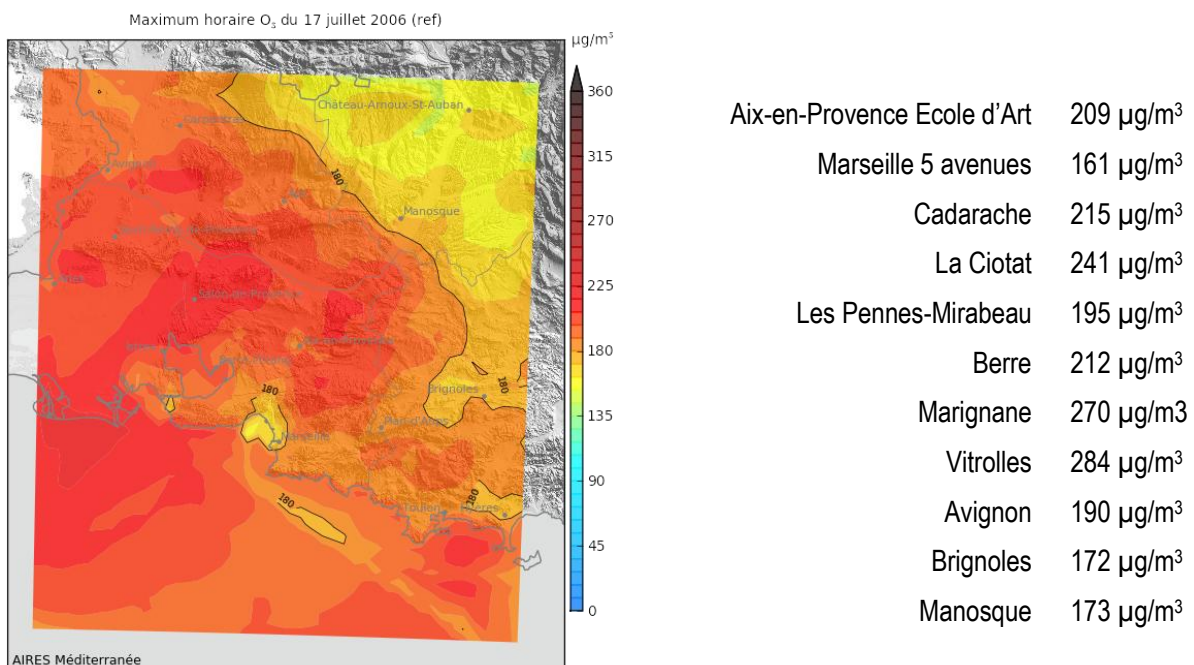


Figure 33 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 17 juillet 2006

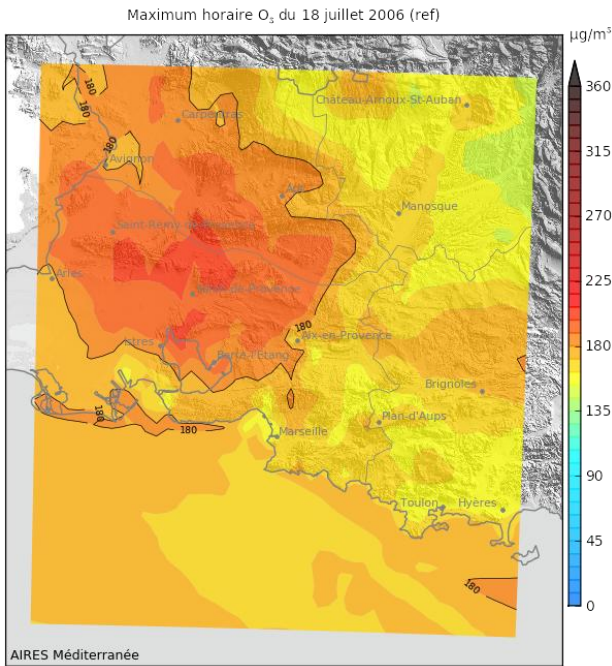


Figure 34 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 18 juillet 2006

DIOXYDE D'AZOTE

La comparaison entre le résultat de la modélisation avec CHIMERE et les concentrations observées aux 22 stations d'Atmo PACA et Airfobep a été réalisée sur les 2 586 maximums journaliers de la période.

Pour les 14 stations urbaines du domaine, le biais varie de -2 à 50 µg/m³ selon les stations. Il est de 17 µg/m³ pour l'ensemble des stations urbaines du domaine. Le coefficient de corrélation varie de 0,34 à 0,74 selon les stations. Il est de 0,55 en moyenne.

Pour les 6 stations trafic du domaine, le biais varie de -41 à 27 µg/m³. Il est de -8 µg/m³ en moyenne sur ces 6 stations. Le coefficient de corrélation varie de 0,42 à 0,66 selon les stations. Il est de 0,53 en moyenne.

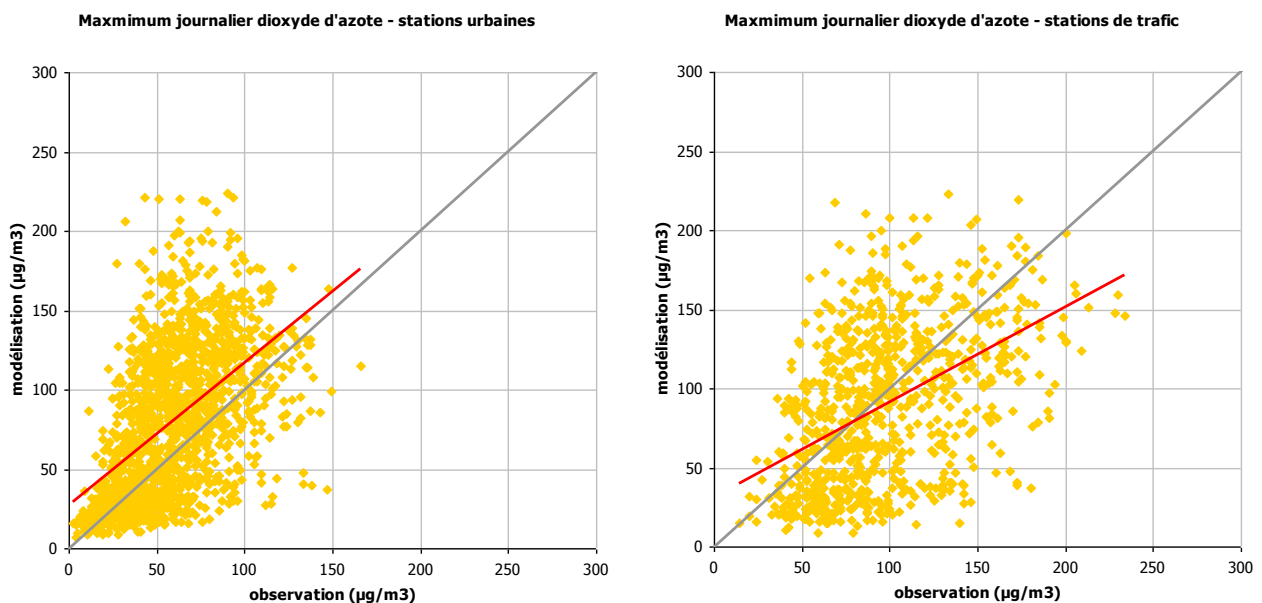


Figure 35 : Comparaison observation / modélisation des maximums journaliers en dioxyde d'azote sur les stations urbaines et de trafic du domaine

Le modèle a tendance à surestimer les maximums journaliers en dioxyde d'azote sur la période donnée. Il est important de noter que la résolution du modèle (mailles de 3 km) n'est pas optimale pour restituer correctement les concentrations en zone urbaine et autour des routes à fort trafic.

La Figure 36 Figure 36représente le maximum horaire en dioxyde d'azote pour la journée du 25 septembre 2006. Cet exemple est accompagné des mesures aux stations urbaines et de trafic pour la même journée. Cette carte indique que les concentrations les plus importantes sont rencontrées en zone urbaine, autour des grandes industries de l'Étang de Berre et le long des principaux axes routiers structurants.

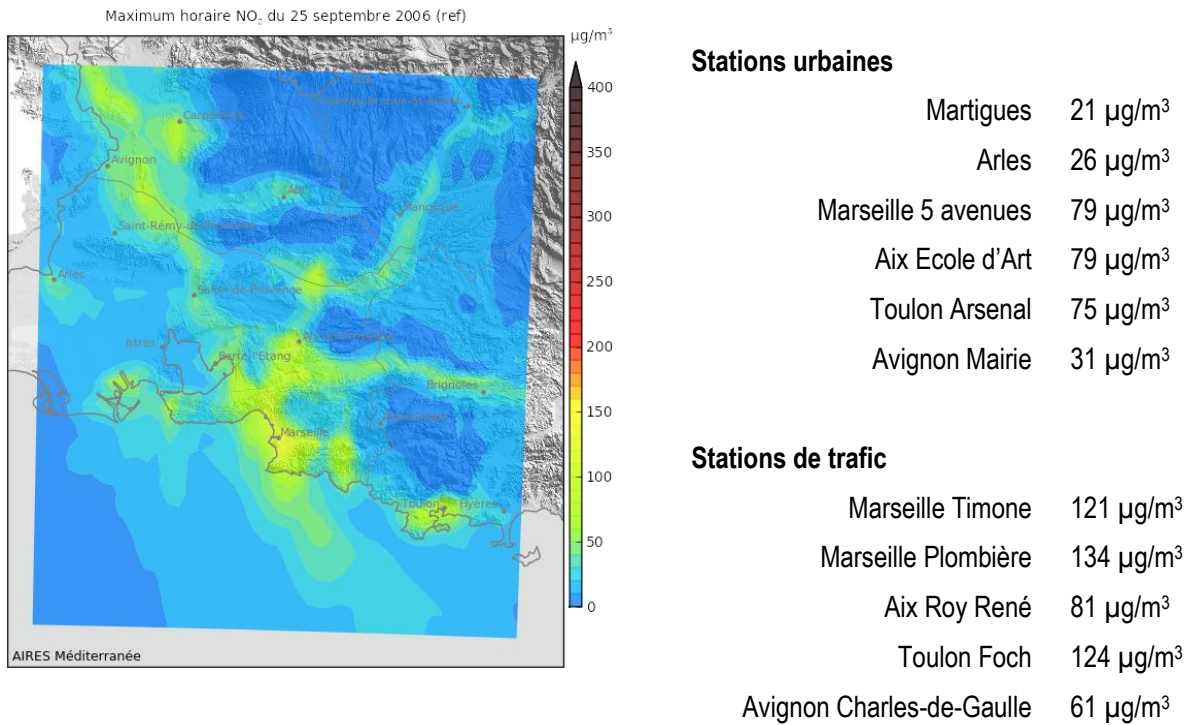


Figure 36 : Maximum horaire modélisé en NO₂ et mesures maximales enregistrées aux stations le 25 septembre 2006

2.4. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LA POLLUTION DE POINTE

Deux scénarios ont été modélisés :

- Le scénario RV1 correspond à l'application de la mesure de réduction de vitesse pendant les 153 jours de la période (du 2 mai au 30 septembre 2006) ;
- Le scénario RV2 correspond à l'application de la mesure de réduction de vitesse uniquement pendant les 20 jours où les mesures d'urgence ont été mises en place (le 2 et 3 juillet 2006, du 10 au 27 juillet 2006 inclus).

2.4.1. OZONE

DIFFERENCE DES MAXIMUMS JOURNALIERS

Les différences entre les maximums journaliers (obtenus avec le scénario RV1 et l'état de référence) sont cartographiées dans les figures suivantes. Les zones bleues correspondent à une amélioration des concentrations en ozone (le scénario modélisé induit des concentrations en ozone plus faibles que l'état de référence). A l'inverse, les zones rouges correspondent à une dégradation des concentrations en ozone.

Pour les trois journées présentées ici (ainsi que les 150 autres jours de la période étudiée), les gains en ozone sont de l'ordre de quelques microgrammes dans les zones rurales. Autour des grands axes routiers, les concentrations d'ozone sont légèrement plus importantes. La diminution des émissions d'oxydes d'azotes provoque une baisse de l'ozone dégradé par ces molécules. L'impact des mesures de réduction de vitesse sont très faibles.

Les différences obtenues entre le scénario RV2 et l'état de référence apportent des résultats identiques pendant les 20 jours où la mesure de réduction de vitesse a été appliquée.

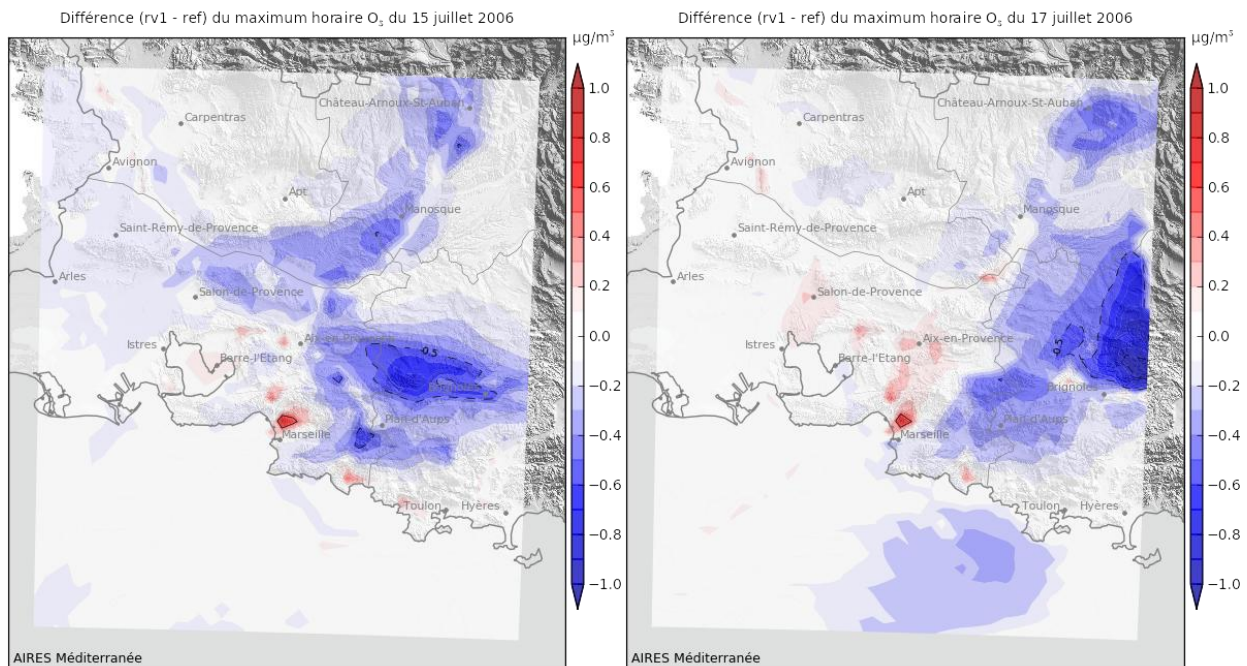


Figure 37 : Différence du maximum journalier en ozone les 15 et 17 juillet 2006

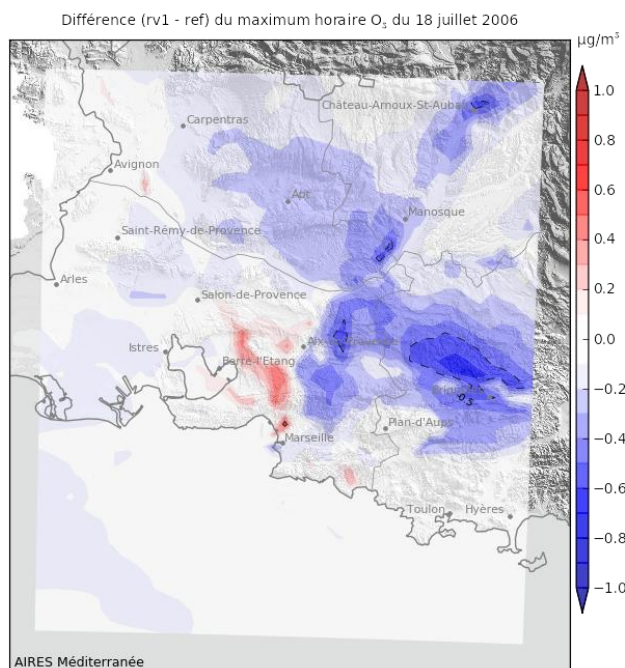


Figure 38 : Différence du maximum journalier en ozone le 18 juillet 2006

FREQUENCE DE DEPASSEMENT DU SEUIL D'INFORMATION

Pour caractériser la pollution de pointe, le nombre d'occurrences de dépassement horaire du seuil d'information de 180 µg/m³ est comptabilisé sur l'ensemble des 2 294 points de calcul du domaine et sur les 3 672 heures de la simulation.

Simulation	Nombre de dépassements horaires du seuil 180 µg/m ³
Etat de référence	43 044
Scénario RV1	42 835
Scénario RV2	42 867

Tableau 3 : Impact des scénarios de réduction de vitesse sur la pollution de pointe en ozone

L'effet de la réduction de vitesse est faible sur le nombre d'occurrences du dépassement du seuil de 180 µg/m³. La mise en place de la mesure sur les 5 mois simulés n'apporte pas de bénéfice significatif par rapport aux 20 jours où elle a été appliquée.

2.4.2. DIOXYDE D'AZOTE

Comme pour l'ozone, les différences entre les maxima journaliers (obtenus avec le scénario RV1 et l'état de référence) sont cartographiées dans la figure ci-dessous. Les zones bleues correspondent à une amélioration des concentrations en dioxyde d'azote (les concentrations modélisées pour l'état de référence sont plus importantes que pour le scénario). A l'inverse, les zones rouges correspondent à une dégradation des concentrations en dioxyde d'azote.

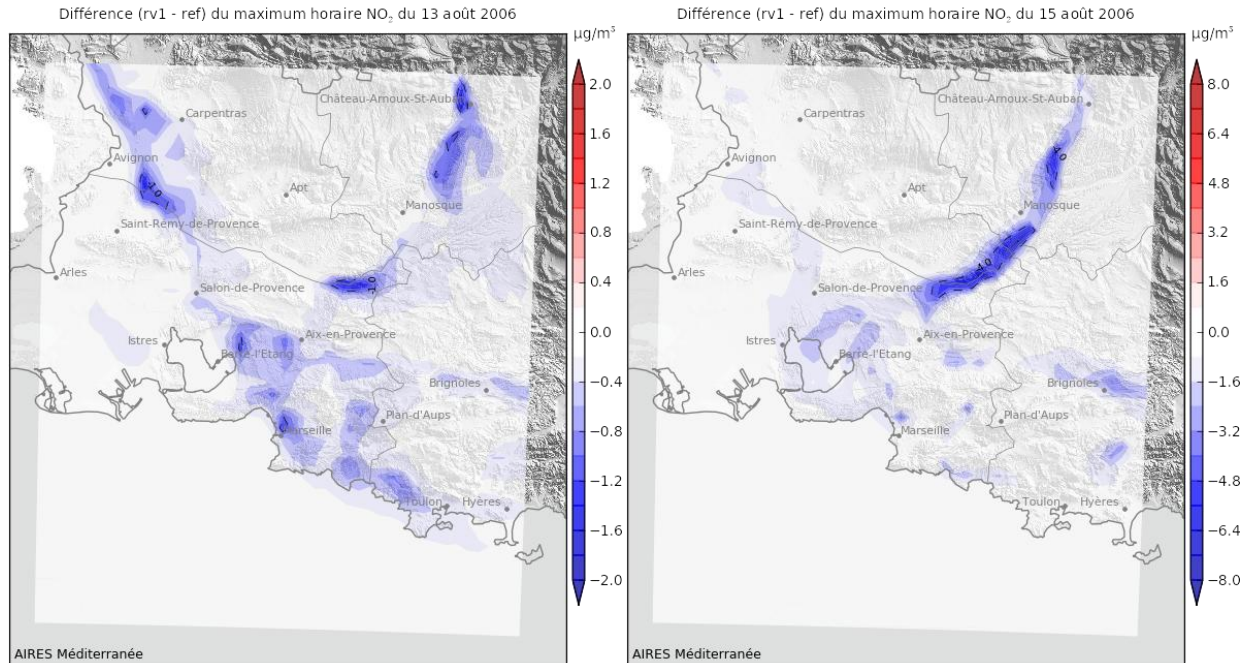


Figure 39 : Différence du maximum journalier en dioxyde d'azote les 13 et 15 août 2006

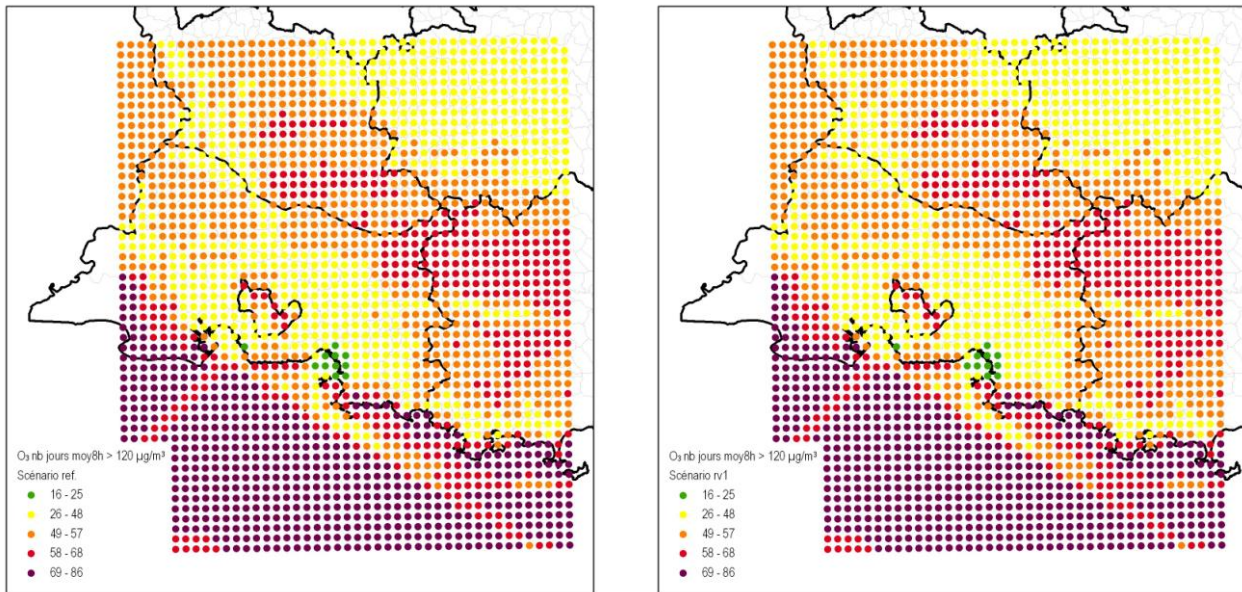
Les gains en dioxyde d'azote varient de 1 à 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selon les journées. Ils sont localisés autour des axes routiers où la mesure de réduction de vitesse a été appliquée. Ces baisses de concentrations sont directement dues à la diminution des émissions d'oxyde d'azote.

Les différences obtenues entre le scénario RV2 et l'état de référence apportent des résultats identiques.

2.5. IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LA POLLUTION CHRONIQUE

2.5.1. OZONE

La fréquence de dépassement de la valeur cible de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 8 heures est importante sur la zone étudiée. L'objectif de ne pas dépasser ce seuil plus de 25 jours/an n'est pas respecté sur la zone d'étude, à l'exception de la zone urbaine de Marseille (Figure 40).



Scénario de référence REF

Scénario RV1

Figure 40 : Nombre de jours de dépassement de la valeur cible $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8h

La différence entre l'état de référence et le scénario RV1 (application de la mesure sur l'intégralité des mois de mai à septembre) est peu significative. Cet impact s'étale de -2 jours dans l'arrière-pays à +3 jours (Figure 41). Par contre, aucun impact sur la pollution chronique n'est constaté entre le scénario RV2 et l'état de référence.

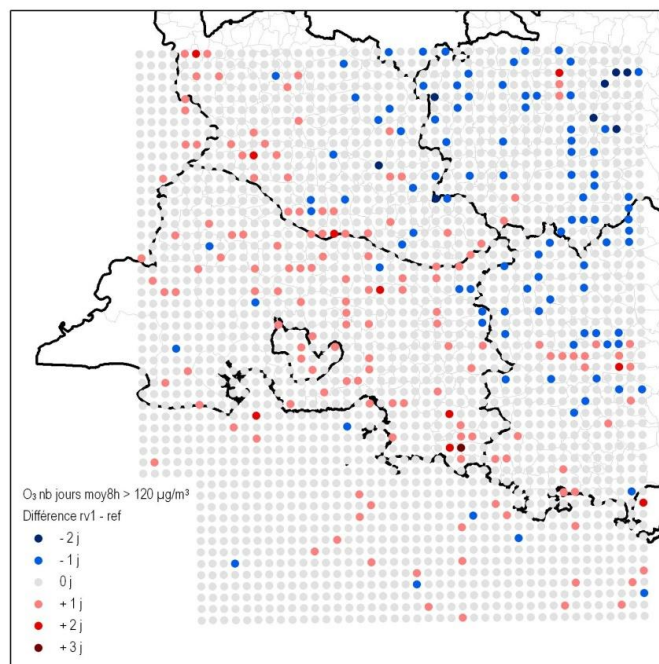


Figure 41 : Différence du nombre de jours où la moyenne glissante sur 8h dépasse le $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les scénarios REF et RV1

2.5.2. DIOXYDE D'AZOTE

Les moyennes des 3 672 valeurs horaires de la période de simulation de l'état de référence et du scénario RV1 sont très similaires. La différence de ces moyennes indique un gain d'au maximum $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'impact de la réduction de vitesse a peu d'effet sur la moyenne de ces 5 mois. Cette mesure a un effet local et ponctuel sur les concentrations de dioxyde d'azote.

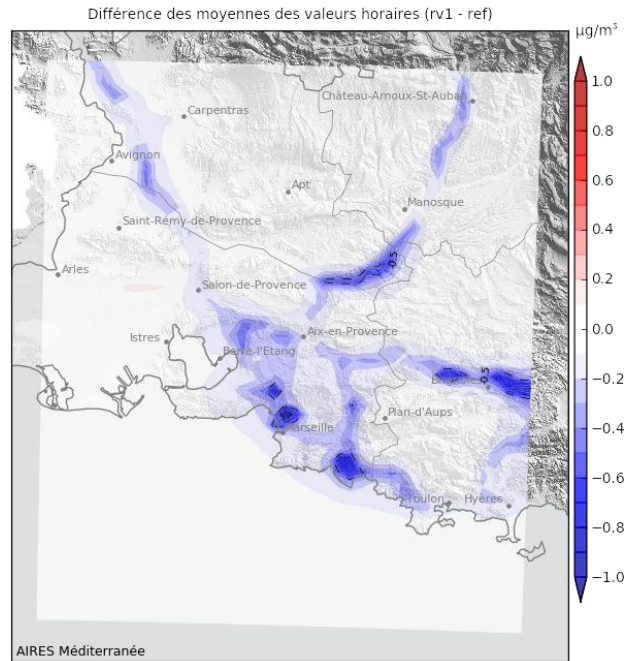


Figure 42 : Différence des moyennes des valeurs horaires en dioxyde d'azote sur les 153 jours de la modélisation

Les différences obtenues entre le scénario RV2 et l'état de référence sont négligeable.

3. CONCLUSION

A travers cette étude, l'impact d'une réduction pérenne de la vitesse de circulation a été testé sur le domaine ESCOMPTE (centré sur Marseille et l'Etang-de-Berre). Dans un premier temps, les émissions de polluants ont été calculées en considérant cette mesure, puis, dans une deuxième phase, ces émissions ont été utilisées pour alimenter la plateforme régionale de modélisation AIRES Méditerranée afin de déterminer l'impact de cette mesure sur les concentrations de polluants (ozone et dioxyde d'azote).

L'étude de l'impact de cette mesure de réduction de vitesse (réduction de 30 km/h sans descendre en-dessous de 70 km/h) sur les émissions de polluants est globalement faible. Les paramètres influençant les émissions de polluants sont très variables d'un axe à un autre (trafic, vitesse autorisée, pourcentage de poids lourds, pente...). D'une manière générale sur la zone d'étude, la **diminution des quantités de polluants émises est de l'ordre de -3 à -5 %** (selon les composés). Toutefois, plusieurs informations peuvent être soulignées :

- Tout d'abord, parmi les principaux polluants étudiés ici, l'impact de cette mesure de réduction de vitesse entraîne des **gains d'émissions sur la totalité des axes rapides** (autoroutes et voies rapides limitées à 110 km/h). Des augmentations d'émissions ont été constatées uniquement sur les routes à 90 km/h.
- L'étude des émissions au cas par cas a mis en évidence des **réductions d'émissions significatives localement** : sur certains axes, l'impact d'une réduction pérenne de la vitesse autorisée peut entraîner des diminutions de l'ordre de 20 % des quantités émises.
- De plus, l'impact de cette mesure sur la contribution au changement climatique a été étudié avec la quantification des émissions de CO₂. Une réduction de la vitesse entraîne une baisse des consommations de carburants et donc une **réduction des émissions de CO₂**. Cette réduction dépasse 142 000 tonnes pour une application annuelle de cette mesure.

Dans un second temps, les concentrations horaires en ozone et en dioxyde d'azote ont été simulées par la plateforme régionale AIRES Méditerranée (modèle météorologique WRF / modèle chimique CHIMERE) sur une période de 5 mois (mai à septembre 2006). La simulation a d'abord concerné la situation réelle (état de référence) et les résultats de modélisation obtenus ont été validés par calcul d'indicateurs statistiques en comparaison avec les valeurs mesurées sur le réseau de stations permanentes d'Atmo PACA et AIRFOBEP.

Deux scénarios différents ont été testés : application de la mesure de réduction de vitesse de manière pérenne sur la période étudiée (scénario RV1) et application ponctuelle de la réduction de vitesse uniquement les 20 jours de déclenchement des mesures d'urgence (scénario RV2).

L'étude de l'impact de la réduction de vitesse sur la pollution de pointe indique :

- Une diminution des concentrations maximales en ozone (de l'ordre de quelques microgrammes) dans l'arrière-pays avec une légère augmentation des concentrations à proximité des grands axes et zones urbaines, en lien avec la diminution de la dégradation de l'ozone par le dioxyde d'azote.
- Une légère diminution des concentrations maximales de dioxyde d'azote le long des principaux axes routiers.

L'analyse du nombre d'occurrences de dépassement du seuil réglementaire de 180 µg/m³ en ozone pour chaque situation simulée indique un **léger gain en situation de réduction de vitesse**. Pour l'ensemble de ces tests, les résultats obtenus avec le scénario RV1 et le scénario RV2 sont similaires.

L'étude de l'impact de la réduction de vitesse sur la pollution chronique indique :

- Une différence peu significative sur le nombre de jours de dépassement de la valeur cible de 120 µg/m³ en ozone (moyenne sur 8 heures) : de -2 à +3 jours sur la période étudiée. Contrairement aux résultats précédents, une différence est notée entre les 2 scénarios simulés : seul le scénario RV1 contribue à une variation de cet indicateur. Le scénario RV2 n'entraîne aucune modification du nombre de jours dépassant 120 µg/m³.
- L'étude de la différence entre les concentrations moyennes en dioxyde d'azote sur l'ensemble de la période étudiée indique une très légère diminution du NO₂ lorsque la réduction de vitesse est appliquée (-1 µg/m³ en moyenne sur les 5 mois).

Il pourrait également être intéressant d'étudier l'impact de ces mesures grâce aux outils de modélisation à haute résolution. Les projets futurs ou en cours comme le développement d'un observatoire de la qualité de l'air autour de

l'autoroute A7 visant à étudier la mise en œuvre d'actions à différentes échelles, permettront dans les mois à venir de compléter ces connaissances.

De plus, cette étude considère uniquement le paramètre de réduction de vitesse autorisée. D'autres variables restent à tester comme l'impact engendré par une réduction simultanée des émissions de COV issues des activités industrielles (réduction temporaire lors du déclenchement des mesures d'urgence mais aussi réduction permanente issue de l'évolution de la réglementation).

Enfin, des paramètres complémentaires à la qualité de l'air méritent aussi d'être pris en compte dans l'évaluation des gains engendrés par ces mesures comme la réduction des nuisances sonores, les changements de comportement des usagers sur le long terme ou encore l'impact sur la sécurité routière.

4. REFERENCES

- Atmo PACA, 2009 : Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre, Inventaire des émissions 2004
- European Environment Agency, 2007 : Emission inventory Guidebook, Technical report N°16/2007
- Cros, B., P. Durand, H. Cachier, P. Drobinski, E. Fréjafon, C. Kottmeier, P. Perros, J. Ponche, D. Robin, F. Saïd, G. Toupance et H. Wortham, 2004: The ESCOMPTE program: an overview. Atmospheric Research, 69 (3-4), 241-279.
- Coll I., Lasry F., Fayet S., 2007 : Programme Primequal 2 Predit : simulation de scénarios de réduction d'émissions
- Skamarock W., Klemp J., Dudhia J., Gill D., Barker D., Duda M., Huang X., Wang W., Powers J.: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, 2008.
- Wang W., Barker D., Bruyere C., Duda M., Dudhia J., Gill D., Michalakes J., and Rizvi S.: WRF Version 3 Modeling System User's Guide, 2008, http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide/V3/.
- Bessagnet B., Hodzic A., Vautard R., Beekman M., Cheinet S., Honéré C., Liousse C., and Rouil L.: Aerosol modelling with CHIMERE – preliminary evaluation at the continental scale, Atmos. Environ., 38, 2803-2817, 2004.
- Simon et al., 2006 Simon V., Dumergues L., Ponche J.L. & Torres L. (2006) The biogenic volatile organic compounds emission inventory in France - Application to plant ecosystems in the Berre-Marseilles area (France). Science of the Total Environment, in press.

5. LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Composition du parc de VPE (parcs automobiles roulant 2006 et 2008, CITEPA).....	8
Tableau 2 : Composition du parc de poids lourds et VPD (parcs automobiles roulant 2006, CITEPA)	10
Tableau 3 : Impact des scénarios de réduction de vitesse sur la pollution de pointe en ozone.....	28

FIGURES

Figure 1 : Exemple de l'évolution de la vitesse en fonction de la vitesse maximale autorisée	4
Figure 2 : Exemple d'évolution des émissions horaires de COV en fonction de la vitesse maximale autorisée .	5
Figure 3 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de benzène	6
Figure 4 : Analyse sectorielle des émissions de benzène (inventaire PACA 2004).....	7
Figure 5 : Analyse des contributions des émissions de benzène des transports routiers par catégorie de véhicules	7
Figure 6 : Evolution des émissions unitaires de benzène en fonction de la vitesse (véhicules particuliers essence).....	7
Figure 7 : Evolution des émissions de benzène avec la vitesse pour un véhicule particulier essence moyen en 2006 et en 2008	8
Figure 8 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions d'oxydes d'azote	9
Figure 9 : Analyse sectorielle des émissions de NO _x (inventaire PACA 2004).....	10
Figure 10 : Analyse des contributions des émissions d'oxydes d'azote des transports routiers par catégorie de véhicules	10
Figure 11 : Evolution des émissions de NO _x avec la vitesse pour un VPE, un VPD et un Poids Lourd moyens selon le parc automobile en 2006	11
Figure 12 : Evolution des émissions de NO _x avec la vitesse pour un VPE, un VPD moyens selon le parc automobile en 2006.....	11
Figure 13 : Impact de la réduction de la vitesse sur les émissions de NO _x (en % et en kg) par catégories de véhicules sur un axe limité à 130 km/h avec 6 % PL (en bleu) et une route limitée à 90 km/h avec 20 % PL (en vert).....	11
Figure 14 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de PM10	12
Figure 15 : Analyse sectorielle des émissions de PM10 (Inventaire PACA 2004).....	13
Figure 16 : Analyse des contributions des émissions de PM10 des transports routiers par catégorie de véhicules	13
Figure 17 : Evolution des émissions de particules avec la vitesse par catégorie de véhicules	13
Figure 18 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de CO	14
Figure 19 : Analyse des contributions des émissions de CO des transports routiers par catégorie de véhicules	15
Figure 20 : Evolution des émissions de CO avec la vitesse pour un véhicule particulier essence moyen en 2006 et en 2008	15
Figure 21 : Impact de la réduction de vitesse sur les émissions de CO ₂	16
Figure 22 : Analyse des contributions des émissions de CO ₂ des transports routiers par catégorie de véhicules	17
Figure 23 : Evolution des émissions de CO ₂ avec la vitesse pour trois types de véhicules.....	17
Figure 24 : Analyse sectorielle des émissions de COVNM dans les Bouches-du-Rhône (2004)	18
Figure 25 : Contribution des émissions anthropiques et naturelles sur la production d'ozone	19
Figure 26 : Localisation du domaine « Escompte ».....	20
Figure 27 : Comparaison observation / modélisation des températures maximales journalières sur l'ensemble des stations météo du domaine	21

Figure 28 : Variation horaire de la température à 2 mètres sur la station d'Aix-en-Provence.....	22
Figure 29 : Comparaison observation / modélisation des vitesses du vent à 10 mètres à la station de Marignane	22
Figure 30 : Comparaison observation / modélisation des maximums journaliers en ozone sur l'ensemble des stations du domaine	23
Figure 31 : Variation horaire de la concentration en ozone à la station des Pennes-Mirabeau	23
Figure 32 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 15 juillet 2006	24
Figure 33 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 17 juillet 2006	24
Figure 34 : Maximum horaire modélisé en ozone et mesures maximales enregistrées aux stations le 18 juillet 2006	25
Figure 35 : Comparaison observation / modélisation des maximums journaliers en dioxyde d'azote sur les stations urbaines et de trafic du domaine.....	25
Figure 36 : Maximum horaire modélisé en NO ₂ et mesures maximales enregistrées aux stations le 25 septembre 2006	26
Figure 37 : Différence du maximum journalier en ozone les 15 et 17 juillet 2006.....	27
Figure 38 : Différence du maximum journalier en ozone le 18 juillet 2006	28
Figure 39 : Différence du maximum journalier en dioxyde d'azote les 13 et 15 août 2006.....	29
Figure 40 : Nombre de jours de dépassement de la valeur cible 120 µg/m ³ sur 8h.....	30
Figure 41 : Différence du nombre de jours où la moyenne glissante sur 8h dépasse le 120 µg/m ³ entre les scénarios REF et RV1	30
Figure 42 : Différence des moyennes des valeurs horaires en dioxyde d'azote sur les 153 jours de la modélisation	31
Figure 43 : Evolution des émissions unitaires de NO _x en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO).....	43
Figure 44 : Evolution des émissions unitaires de particules en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO)	44
Figure 45 : Evolution des émissions unitaires de CO ₂ en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO).....	46

6. ANNEXES

ANNEXE 1 : PRINCIPE DE CALCUL DE CIRCUL'AIR

CIRCUL'AIR calcule, pour chaque axe, les émissions annuelles du trafic routier selon le principe schématisé ici. Les données d'entrées à renseignées sont indiquées en ■.

I Estimation du trafic horaire

Le **TMJA** (1) est renseigné pour chaque axe routier.

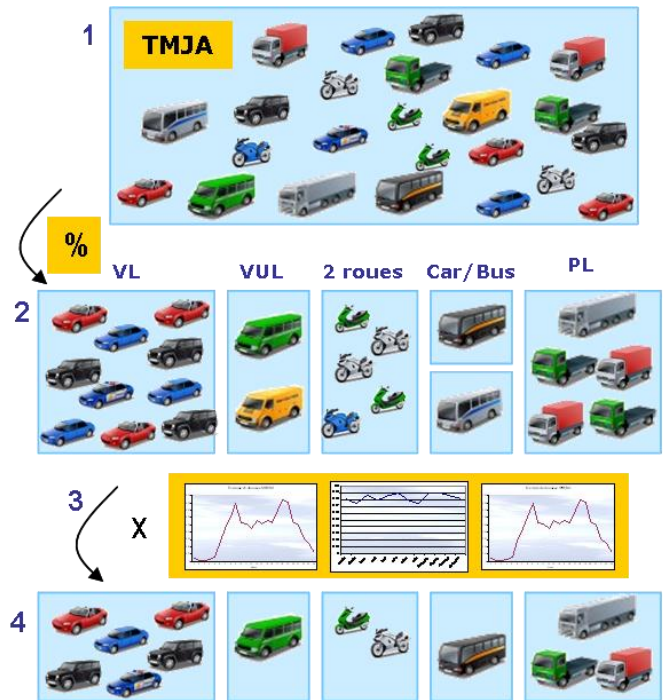
Le **% par type de véhicule** (2) est aussi renseigné par axe, à partir de données collectées (% PL, % Bus, % Car) ou issues de la littérature (% 2roues, % VUL).

A partir de ces données, le **trafic annuel** pour chaque type de véhicule est alors défini par l'outil.

Les profils temporels (3) sont à intégrer dans CIRCUL'AIR selon le type de voie :

- **profil par mois** répartition du trafic annuel /mois
- **profil par jour** répartition du trafic mois / JO, S et D
- **profil horaire** répartition du trafic JO, S et D / heure

A partir de ces profils, CIRCUL'AIR calcule le trafic horaire par type de véhicule pour chaque de jour, de chaque mois de l'année (4).



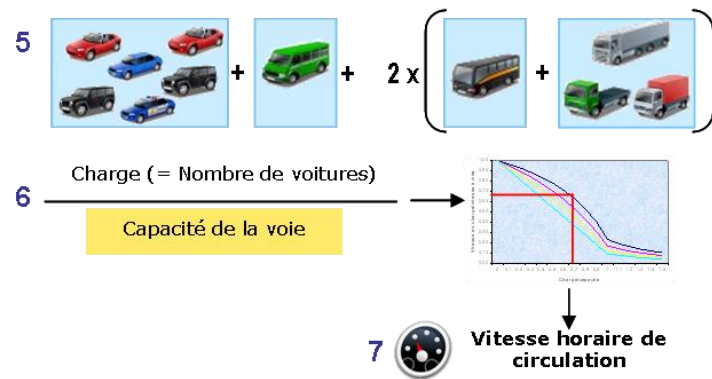
II Estimation de la vitesse horaire du trafic

Le principe de CIRCUL'AIR est de définir, chaque heure, la **vitesse** des véhicules en estimant la congestion sur les axes.

La **charge horaire** est déterminée en considérant que :
 -les bus et PL occupent 2 fois plus de place sur la route que les VL;
 -les 2 roues ne participent pas à l'encombrement de l'axe (5).

La **capacité de la voie** est estimée à partir du nombre de voie et de la catégorie de l'axe (autoroute, route, ville).

Le **coefficient de charge** (6) horaire obtenu est croisé avec des courbes théoriques (intégrées dans l'outil) pour en déduire une vitesse horaire (7).



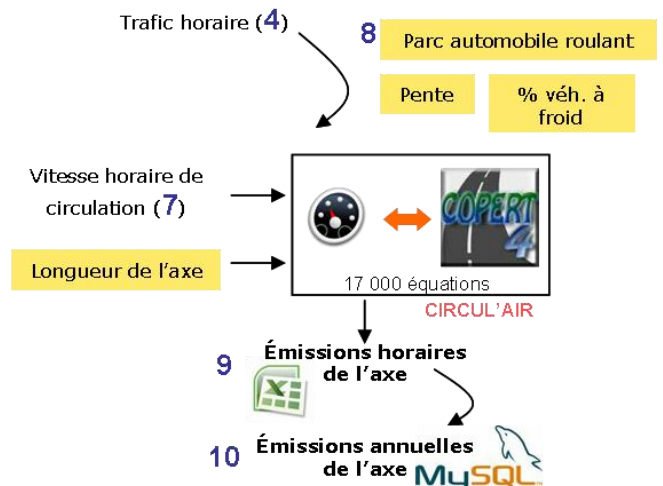
III Calcul des émissions annuelles

CIRCUL'AIR contient l'ensemble des équations COPERT IV pour 215 types de véhicules (carburant, cylindrée, norme EURO...). Le trafic horaire (4) est réparti à l'aide du **parc automobile roulant** (8).

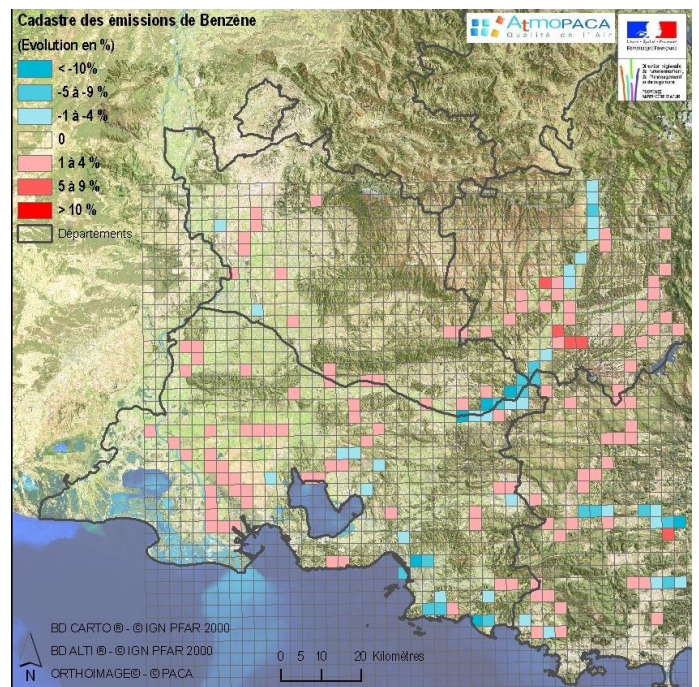
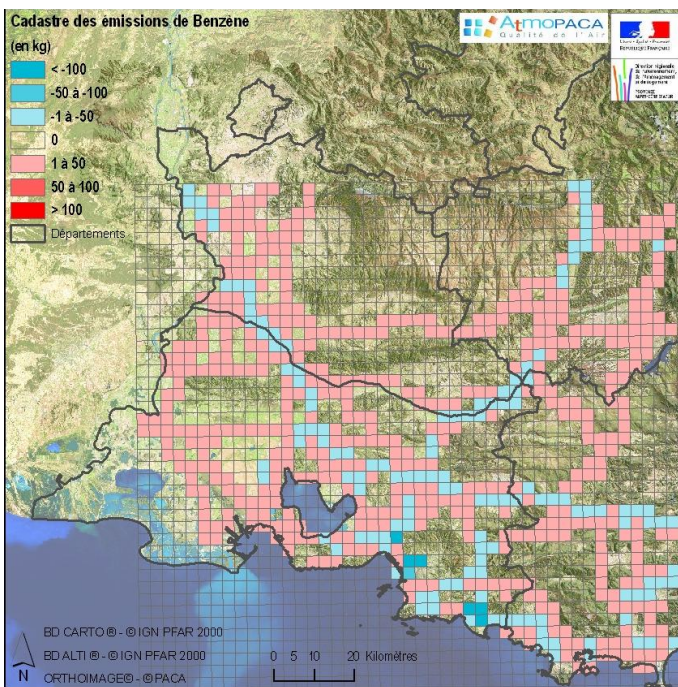
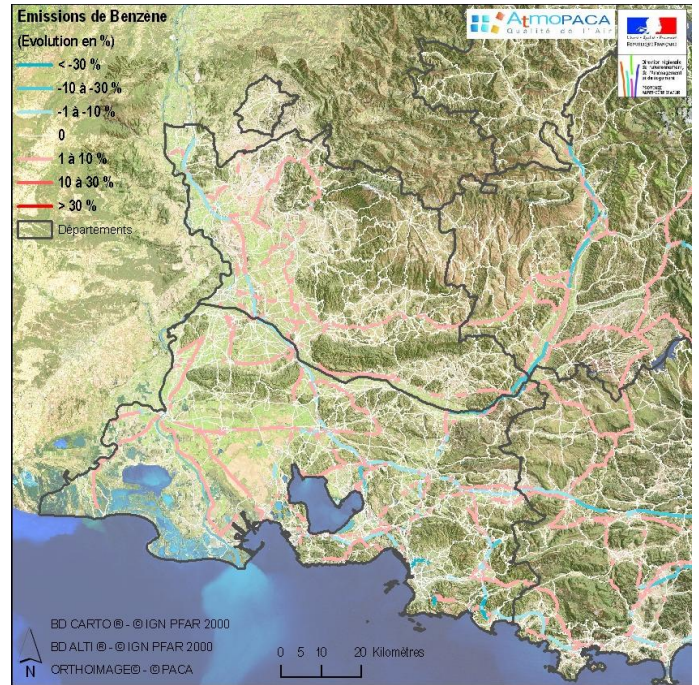
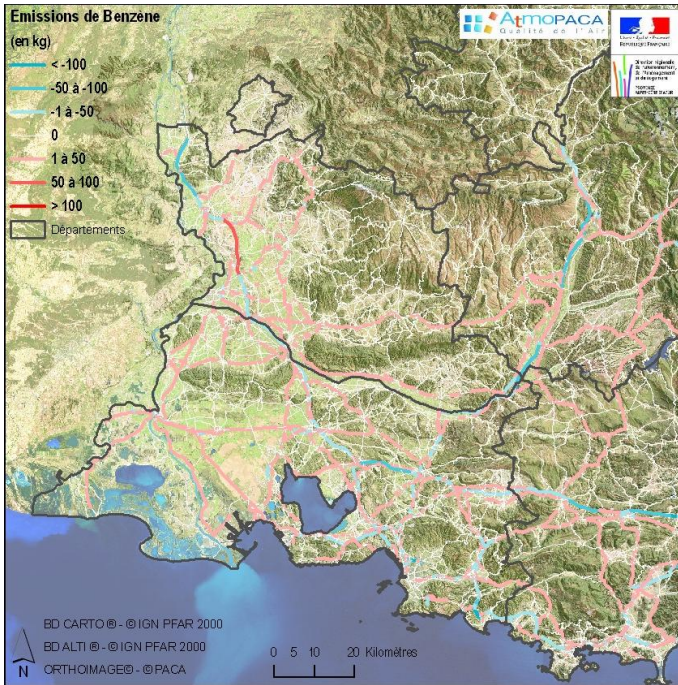
La **longueur de l'axe** doit également être renseignée.

CIRCUL'AIR est constitué d'une macro Excel calculant les émissions horaires de chaque axe (9).

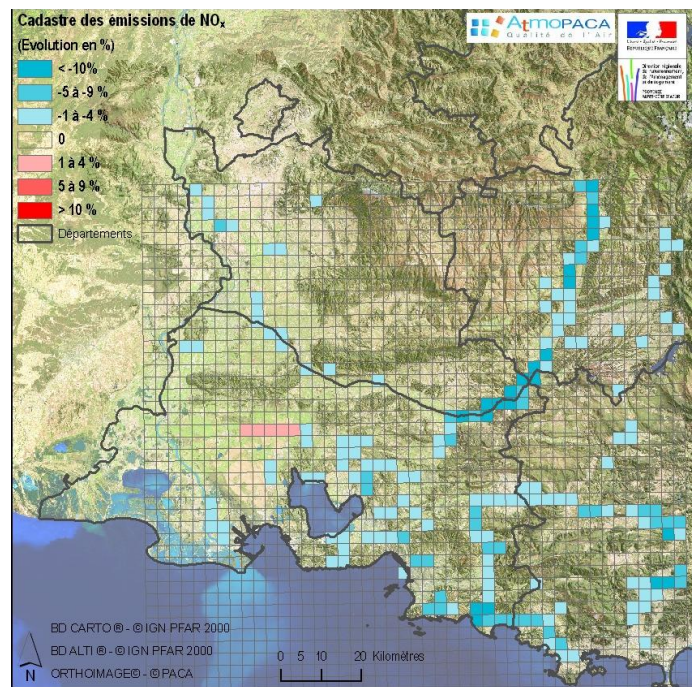
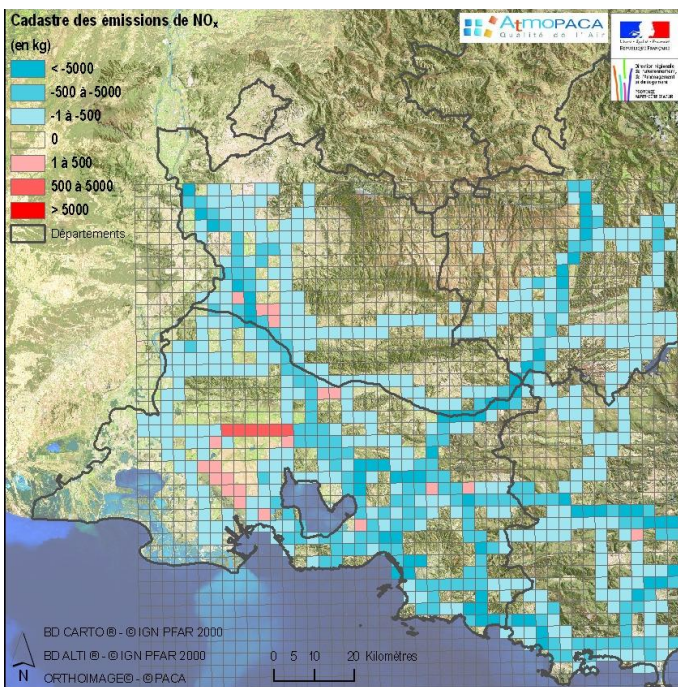
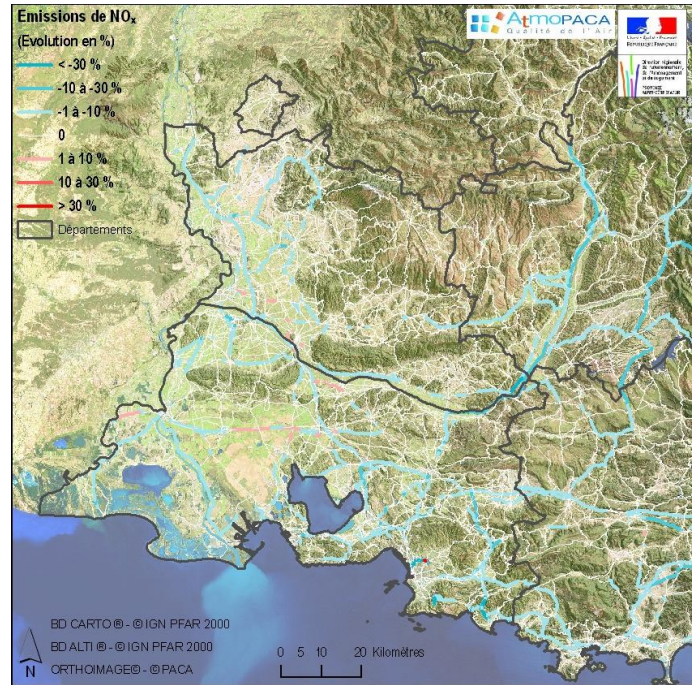
Ces résultats sont agrégés à l'année puis stockés dans une base de données MySQL (10) par type de véhicules (VL, VUL, Car, Bus, 2 roues et PL).



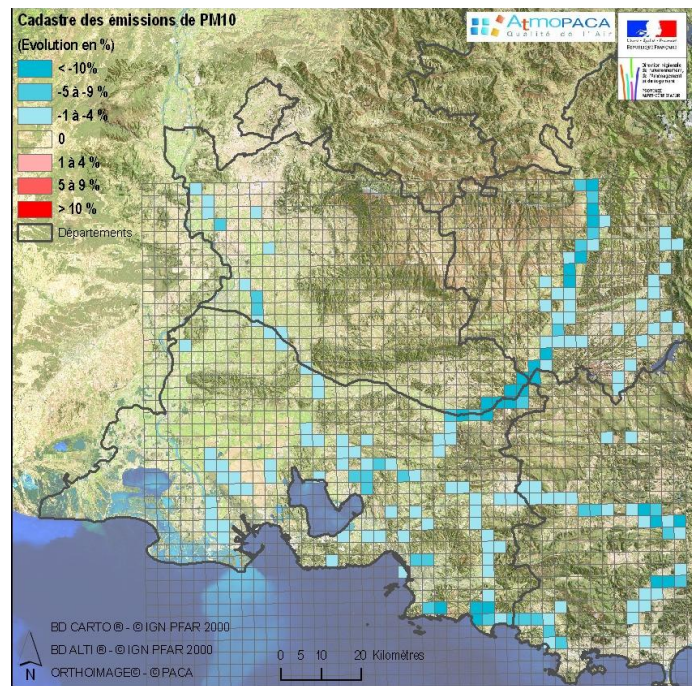
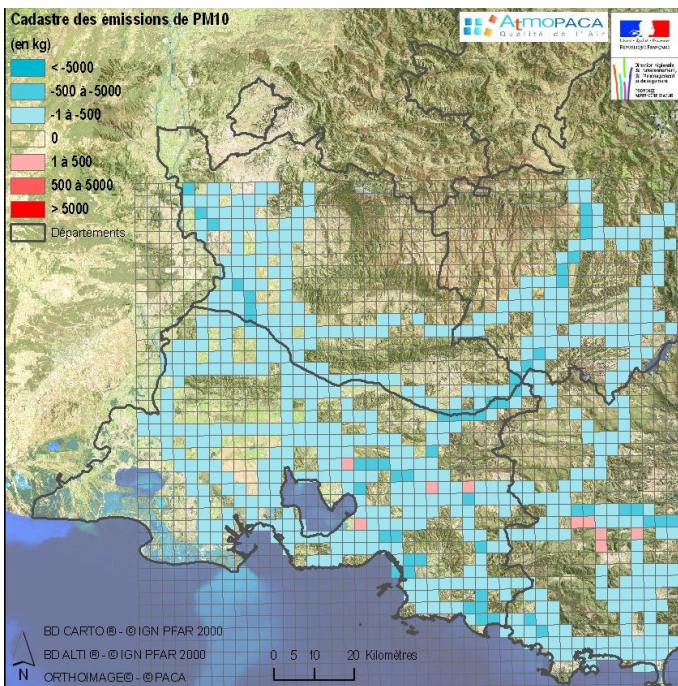
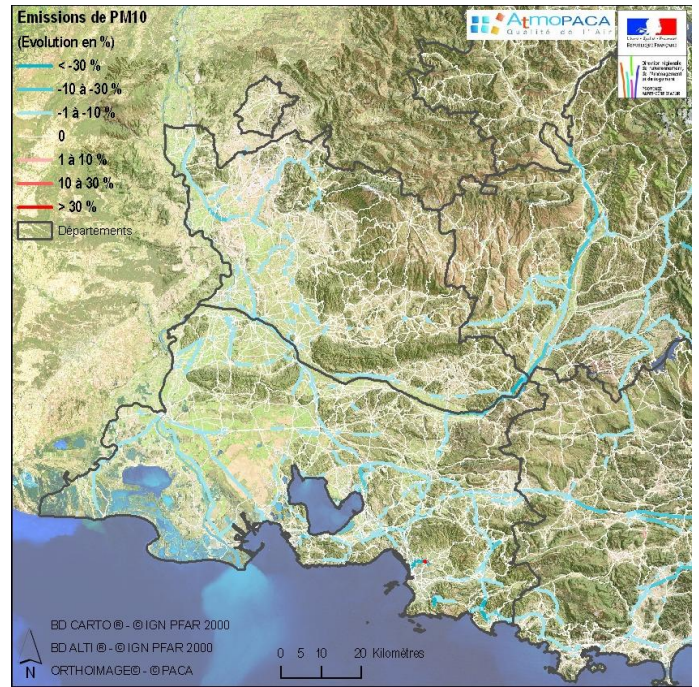
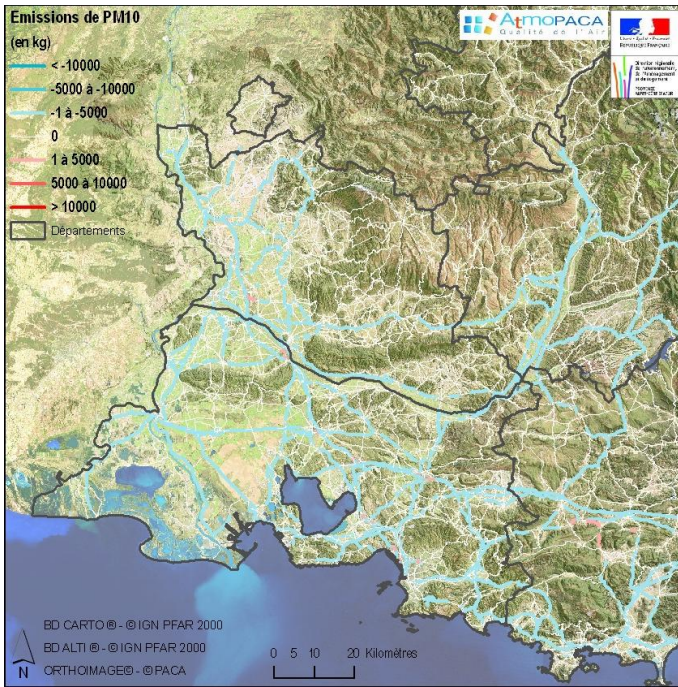
ANNEXE 2 : IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE BENZENE



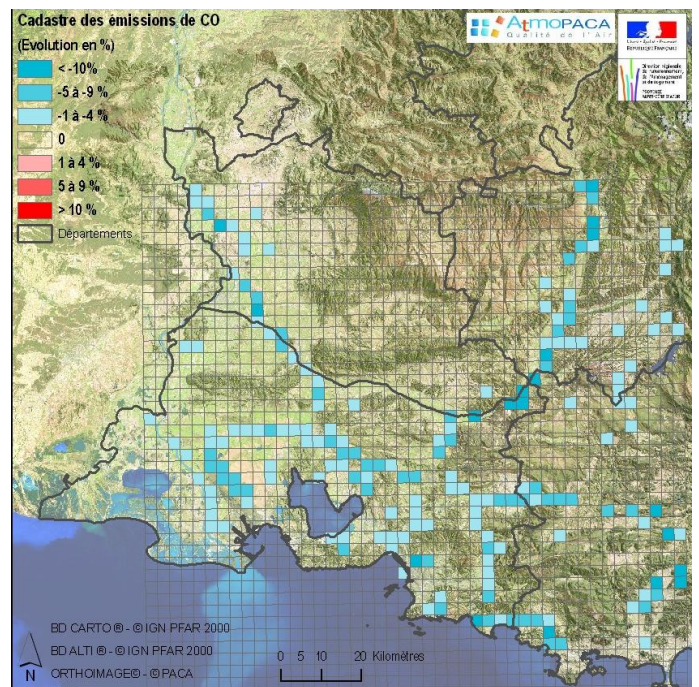
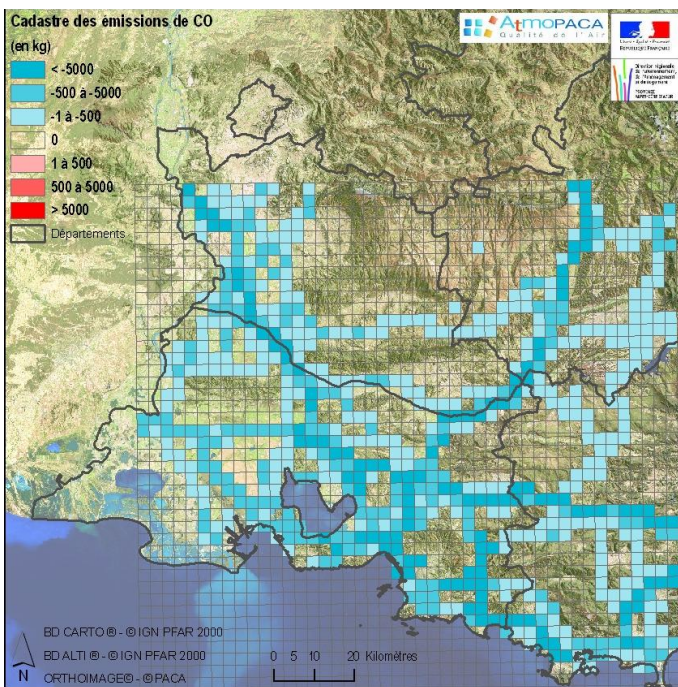
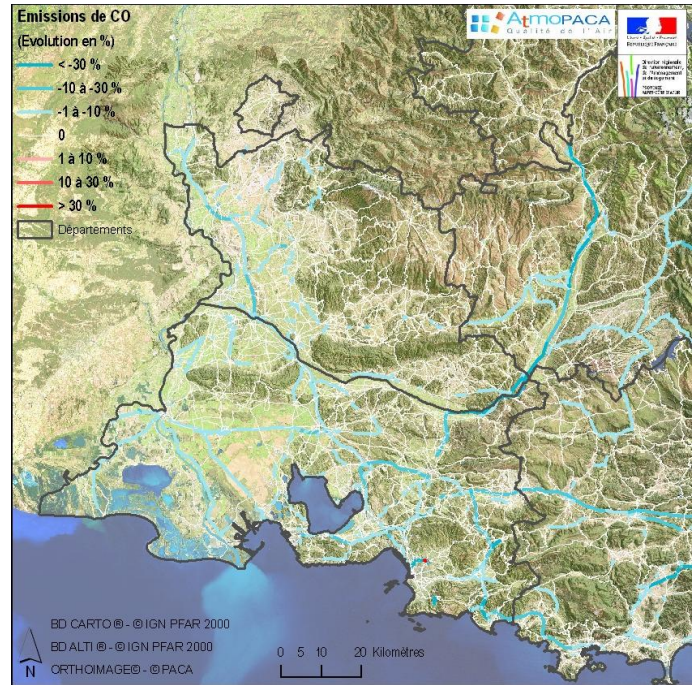
ANNEXE 3 : IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE NO_x



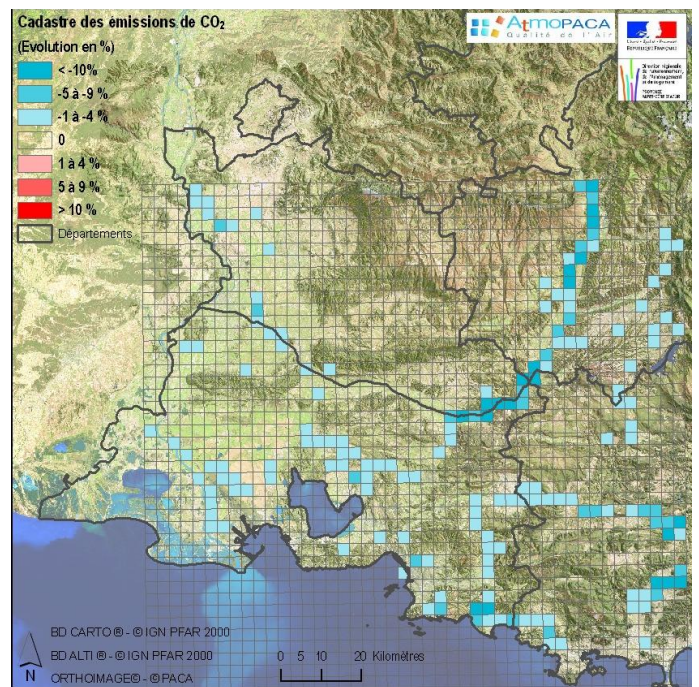
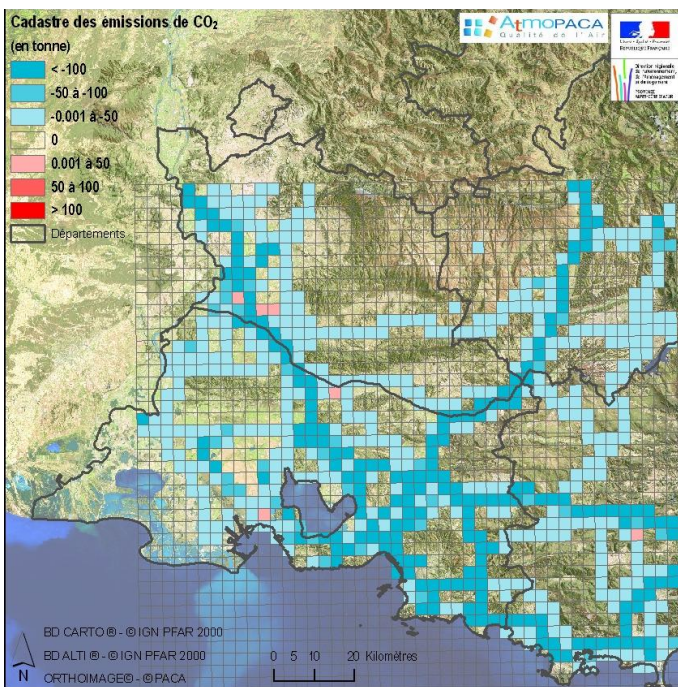
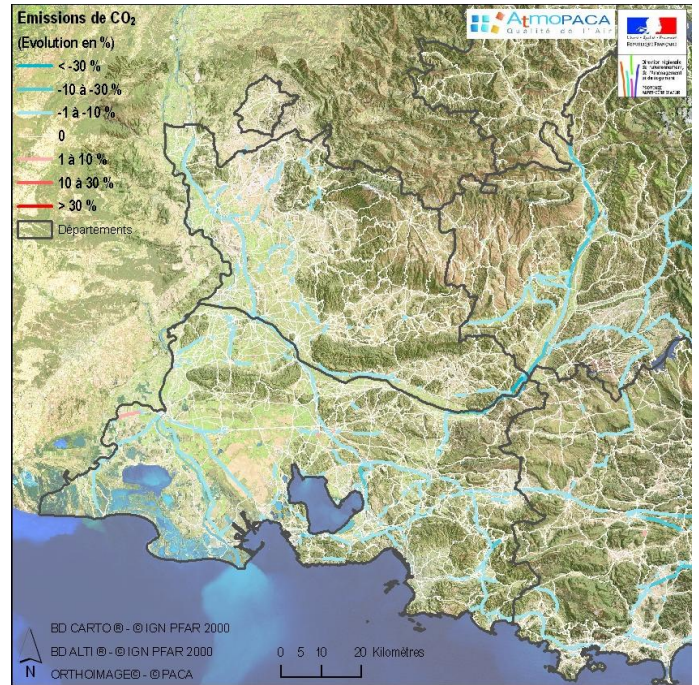
ANNEXE 4 : IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE PM10



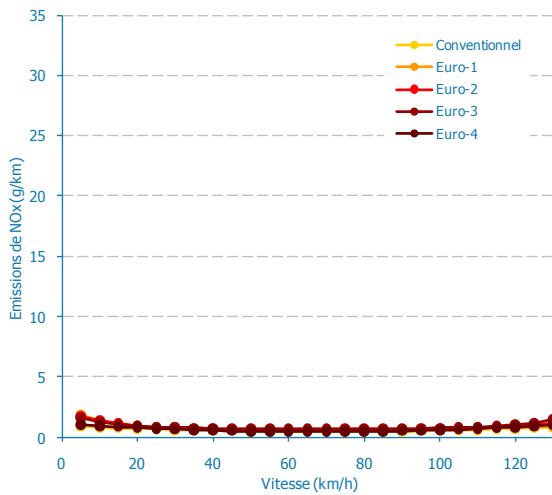
ANNEXE 5 : IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO



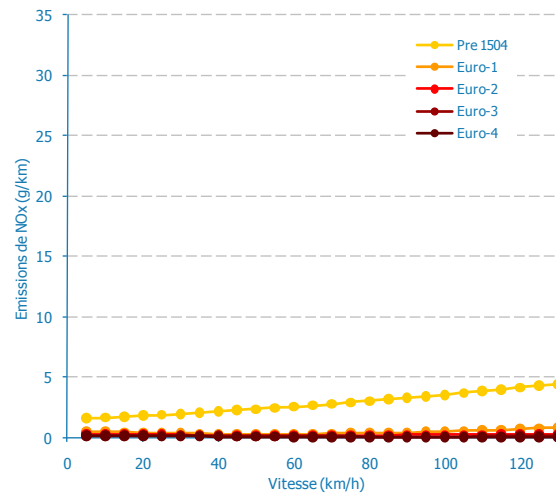
ANNEXE 6 : IMPACT DE LA REDUCTION DE VITESSE SUR LES EMISSIONS DE CO₂



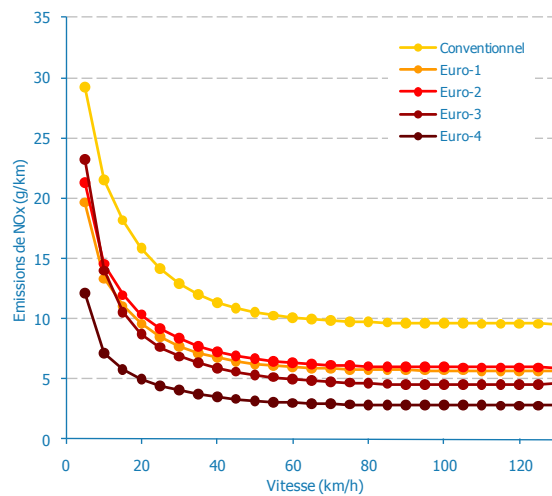
ANNEXE 7 : EMISSIONS UNITAIRES DE NO_x PAR CATEGORIE DE VEHICULES EN FONCTION DE L'EVOLUTION DES NORMES EURO



Véhicules particuliers Diesel



Véhicules particuliers Essence



Poids Lourds

Figure 43 : Evolution des émissions unitaires de NO_x en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO)

ANNEXE 8 : EMISSIONS UNITAIRES DE PM (COMBUSTION) PAR CATEGORIE DE VEHICULES EN FONCTION DE L'EVOLUTION DES NORMES EURO

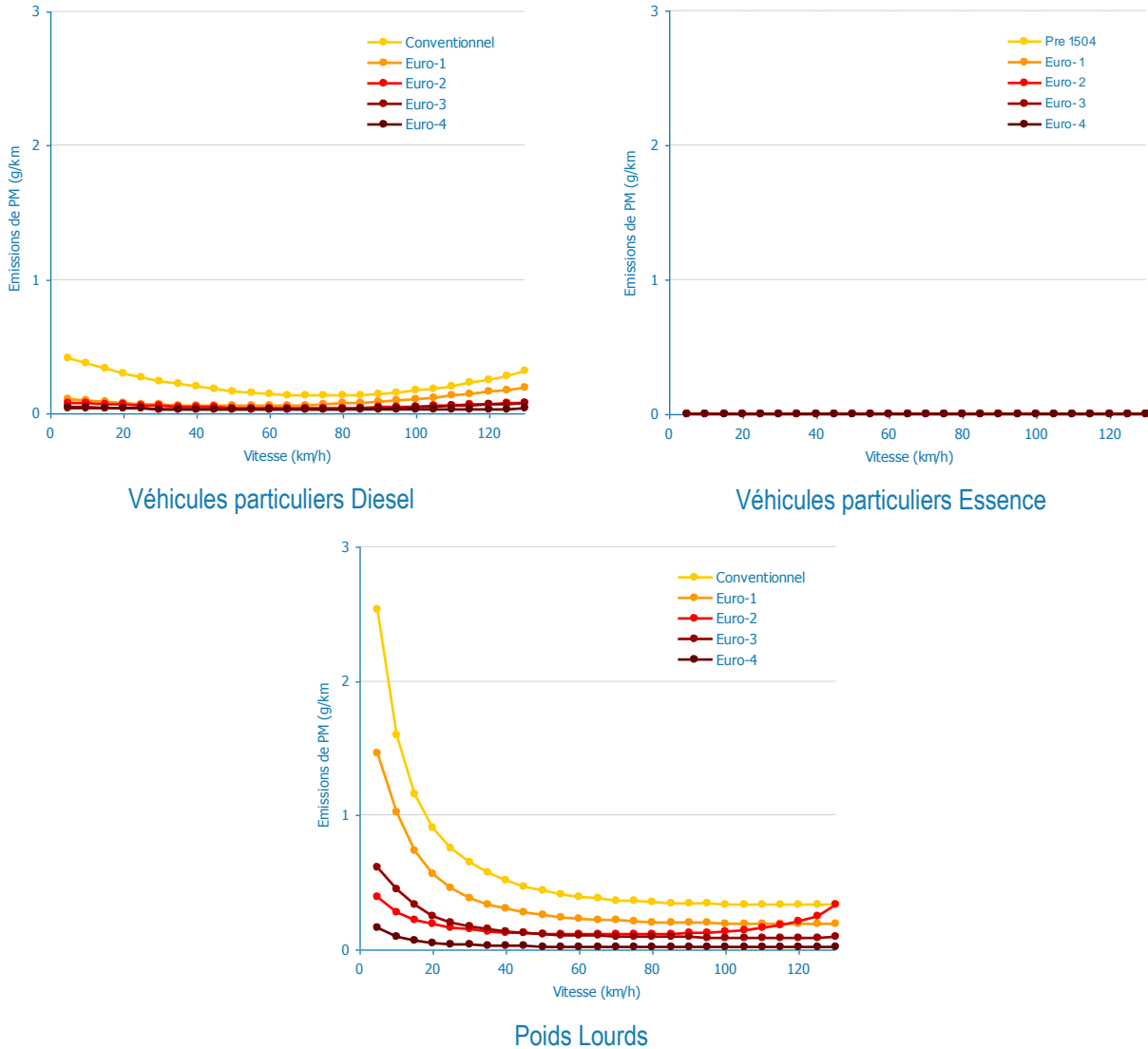
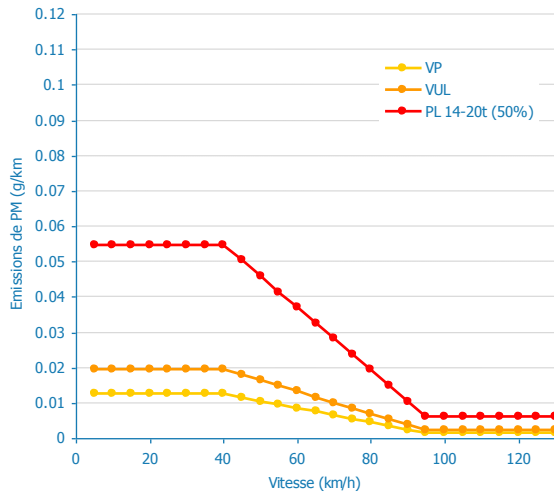
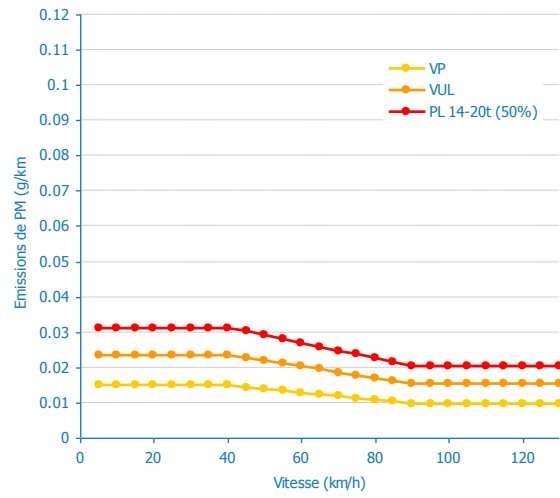


Figure 44 : Evolution des émissions unitaires de particules en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO)

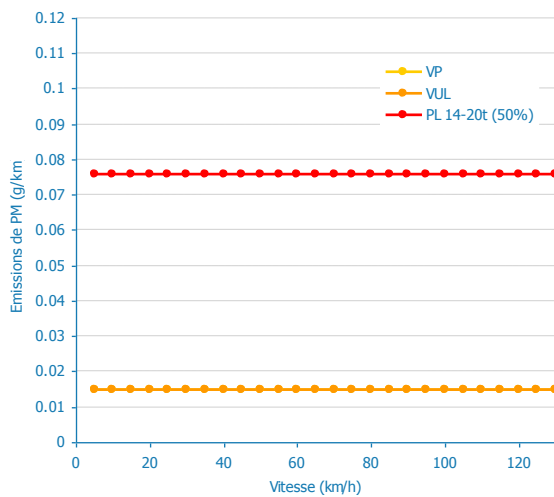
ANNEXE 9 : EMISSIONS UNITAIRES DE PM (NON COMBUSTION) PAR CATEGORIE DE VEHICULES



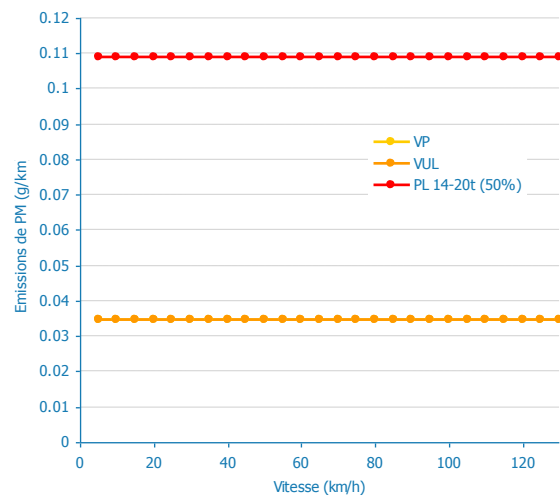
Usure des freins



Usure des pneus

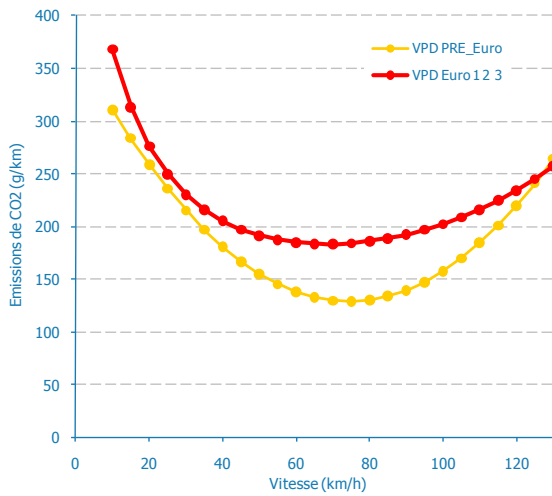


Usure de la route

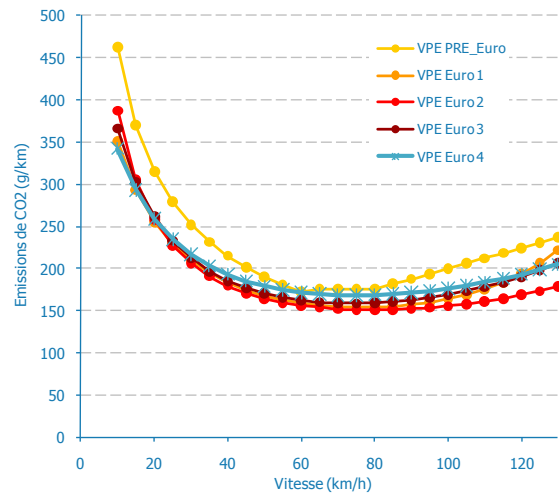


Remise en suspension

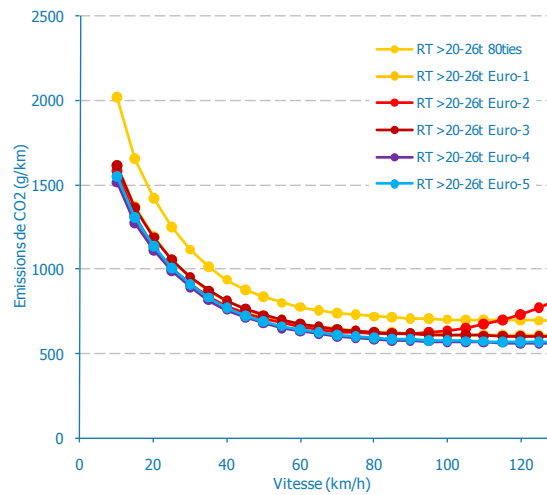
ANNEXE 10 : EMISSIONS UNITAIRES DE CO₂ PAR CATEGORIE DE VEHICULES



Véhicules particuliers Diesel



Véhicules particuliers Essence



Poids Lourds

Figure 45 : Evolution des émissions unitaires de CO₂ en fonction de la vitesse (pour différentes catégories de véhicules et normes EURO)

ANNEXE 11 : RECAPITULATIF DES CONCENTRATIONS D'OZONE OBSERVEES EN 2006

Maximums en µg/m ³ /h	17/5	11/6	13/6	14/6	15/6	18/6	22/6	23/6	24/6	25/6	26/6	27/6	28/6	29/6	30/6	1/7	2/7	3/7	4/7	5/7	6/7	9/7	10/7	11/7	12/7
Bouches-du-Rhône																									
Aix Ecole d'Arts	214	170	133	193	146	198	132	133	159	159	169	211	198	140	132	200	202	148	160	153	145	126	180	177	244
Aix Jas de Bouffan	214	164	137	190	149	186	137	135	160	173	177	214	214	147	150	208	213	153	162	151	152	132	183	175	241
Aix Les Platanes	235	178	147	198	156	191	132	133	170	158	184	220	217	147	146	218	229	156	164	171	151	129	204	180	259
Bouc Bel Air	157	143	131	175	138	189	127	127	146	178	177	158	168	145	117	181	182	138	160	128	128	136	154	158	190
Cadarache/ V. de la Durance	239	168	172	203	179	130	138	142	187	163	183	236	227	140	150	251	217	181	182	167	158	117	226	160	204
Rousset	138	160	149	174	178	216	157	135	175	148	191	195	171	154	149	217	198	154	170	156	138	146	179	177	205
Aubagne Est Pénitents	124	147	137	140	137	150	158	128	155	144	146	162	136	163	150	162	170	139	170	148	159	155	146	209	160
La Ciotat	101	129	123	128	112	122	160	141	112	145	153	121	118	141	159	171	137	99	135	129	168	145	124	204	149
Marseille Cinq Avenues	112	138	118	130	118	123	150	108	125	136	165	119	106	142	135	148	144	110	148	134	154	149	126	151	143
Marseille Sainte Marguerite	106	154	132	133	135	138	159	118	146	151	156	150	124	157	145	184	160	128	172	161	172	172	140	192	153
Plan de Cuques / Allauch	139	155	131	153	133	147	159	117	158	153	185	145	147	166	166	166	179	177	143	179	155	186	162	146	190
Pennes Mirabeau	162	151	130	163	127	187	146	136	145	195	149	144	149	150	158	190	168	113	141	143	144	150	139	191	203
Vallée de l'Huveaune	111	151	143	143	141	155	177	129	160	156	157	168	137	169	158	173	174	142	177	159	172	158	157	189	160
Aries	143	130	137	113	121	139	120	111	149	150	112	152	159	128	141	166	203	108	127	140	113	98	130	140	150
Berre l'Etang	186	171	113	134	114	131	118	104	117	139	129	158	167	127	136	192	271	96	118	132	115	157	160	143	200
Fos Carabins	181	146	140	119	125	148	130	122	119	152	167	123	214	142	142	184	205	112	134	146	123	151	151	133	189
Istres	151	124	108	96	110	135	120	121	119	147	159	134	192	142	140	180	208	107	127	144	123	124	146	131	180
Marignane Ville	157	155	119	161	114	187	120	114	128	164	126	176	121	135	126	213	195	104	157	134	116	198	131	159	208
Martigues ND des Marins	178	161	137	123	131	143	136	126	146	159	174	147	182	155	149	252	288	121	158	160	136	183	164	148	190
Miramas	168	165	145	131	160	187	126	115	159	179	174	214	210	147	142	198	220	139	150	169	126	119	176	142	206
Port de Bouc La Lègue	172	132	127	150	127	146	126	113	119	143	201	126	181	133	141	175	145	113	137	151	115	181	190	125	227
Rognac Barjaquets	237	188	126	144	139	155	147	141	149	183	164	202	196	157	165	255	311	130	151	170	141	167	177	243	242
Salon de Provence	177	188	148	151	157	172	125	128	160	194	156	180	193	139	149	192	229	137	151	159	129	101	187	151	195
Sausset les Pins	204	123	125	152	132	128	160	125	126	154	201	147	160	154	156	254	159	130	140	162	138	200	186	179	217
Saint Remy de Provence	175	150	177	131	148	131	115	121	155	170	129	172	148	145	138	169	206	160	141	174	105	108	152	152	169
Saintes Maries de la Mer	162	127	122	113	133	161	113	107	120	147	123	127	148	136	143	158	186	119	138	158	118	116	161	147	203
Vitrolles	213	183	135	183	136	180	143	138	154	186	163	203	173	150	160	239	285	143	160	162	142	200	182	308	259
Vaucluse																									
Apt	179	205	185	155	187	168	138	135	189	166	151	203	162	137	147	184	189	193	199	165	149	127	174	191	177
Avignon Arrousaire	146	159	182	138	160	136	131	140	182	171	141	166	160	155	155	175	187	167	152	179	112	114	156	179	198
Avignon Mairie	128	140	160	117	142	117	114	122	160	146	120	148	138	134	132	148	170	144	135	155	95	90	136	148	164
Comtat Venaissin	160	177	202	155	176	141	112	129	198	168	142	175	131	139	151	163	164	199	180	204	122	112	158	167	155
Le Pontet	148		175	127	156	128	108	127	179	169	134	162	145	138	134	143	167	166	143	182	91	94	152	168	157
Cadarache/ V. de la Durance	239	168	172	203	179	130	138	142	187	163	183	236	227	140	150	251	217	181	182	167	158	117	226	160	204
Manosque	198	152	184	177	179	113	136	129	183	139	165	216	151	147	145	217	209	190	180	151	145	115	190	160	170
Saint Remy de Provence	175	150	177	131	148	131	115	121	155	170	129	172	148	145	138	169	206	160	141	174	105	108	152	152	169
Gard Rhodanien 2 (Air LR)			167	141	163	127	124	139	176	171	139	162	152	148	162	178	204	141	163	178	108	111	165	184	199
Alpes de Hautes Provence																									
Manosque	198	152	184	177	179	113	136	129	183	139	165	216	151	147	145	217	209	190	180	151	145	115	190	160	170
Château Arnoux - Saint Auban	175	157	182	164	186	116	127	124	161	136	146	181	128	140	146	175	175	158	167	156	154	99	198	207	167
Apt	179	205	185	155	187	168	138	135	189	166	151	203	162	137	147	184	189	193	199	165	149	127	174	191	177
Cadarache/ V. de la Durance	239	168	172	203	179	130	138	142	187	163	183	236	227	140	150	251	217	181	182	167	158	117	226	160	204
Var																									
Plan d'Aups / Sainte Baume	105	116	143	172	148	145	199	167	195	152	158	159	172	200	166	177	183	157	187	175	159	152	152	220	175
Brignoles	146	161	150	173	156	122	172	176	161	151	146	154	137	181	192	155	173	146	173	154	141	135	145	201	184
Hyères	107	136	131	130	119	122	179	138	138	146	112	105	107	160	191	150	150	117	158	138	136	131	134	157	166
La Seyne sur Mer																									
Toulon Arsenal	100	135	123	130	119	112	166	137	128	146	132	107	99	148	173	173	158	107	131	130	145	144	125	185	138
La Valette du Var	110	142	137	133	132	125	177	153	134	154	106	112	108	165	191	143	137	121	163	146	150	141	142	199	167
La Ciotat	101	129	123	128	112	122	160	141	112	145	153	121	118	141	159	171	137	99	135	129	168	145	124	204	149
Alpes-Maritimes																									
Adréchas	117	156	177	186	170	118	192	171	173	138	150	174	174	169	167	179	177	180	182	172	150	156	184	197	193
Cians	111	146	170	172	161	109	119	164	160	138	139	158	135	165	168	166	168	161	178	166	157	122	160	170	162
Antibes Jean Moulin	113	132	132	140	128</																				

Maximums en µg/m³/h	13/7	14/7	15/7	16/7	17/7	18/7	19/7	20/7	21/7	22/7	23/7	24/7	25/7	26/7	27/7	30/7	31/7	4/9	9/9	11/9	12/9
Bouches-du-Rhône																					
Aix Ecole d'Arts	225	160	172	183	209	164	167	160	186	162	151	230	175	247	121	171	190	145	146	139	142
Aix Jas de Bouffan	233	170	175	192	225	171	178	172	188	163	150	233	178	262	131	172	198	145	143	140	141
Aix Les Platanes	243							175	195	169	151	230	186	242	139	171	202	148	141	141	127
Bouc Bel Air	190	161	171	229	186	164	168	131	162	156	152	166	150	184	134	169	175	112	119	128	136
Cadarache/ V. de la Durance	174	155	179	160	215	171	203	198	206	208	141	191	170	242	147	135	178	187	140	127	142
Rousset	208	152	182		197	162	177	159	186	179	155	217	196	215	132	181	146	127	153	124	146
Aubagne Est Pénitents	180	158	180	179	170	174	175	147	174	142	189	190	152	149	133	183	180	107	131	122	137
La Ciotat	145	227	175	195	241	152	146	130	157	135	181	156	131	117	98	163	167	102	114	112	130
Marseille Cinq Avenues	162	145	163	154	161	148	146	119	117	168	157	159	118	126	108	171	228	93	116	106	124
Marseille Sainte Marguerite	175	169	184	173	166	176	173	133	115	149	162	165	142	123	122	171	222	114	134	135	154
Plan de Cuques / Allauch	190				182	166	167	132	169	220	174	185	140	122	129	177	224	101	134	127	147
Pennes Mirabeau	169	159	168	160	195	158	162	134	186	189	159	192	136	193	115	166	278	102	129	122	120
Vallée de l'Huveaune	183	168			180	182	182	137	166	162	185	179	162	132	130	160	188	119	136	133	157
Arles	158	159	153	155	151	129	154	125	119	151	145	146	150	103	106	142	143	113	134	123	
Berre l'Etang	218	159	237	217	212	161	162	173	164	215	155	233	161	276	118	157	195	139	130	163	
Fos Carabins	193	186	189	180	156	156	146	125	108	212	143	178	129	155	98	141	162	109	131	138	
Istres	178	172	201	179	160	145	138	154	115	191	148	188	138	201	107	146	154	94	120	119	
Marignane Ville	182	139	162	184	270	135	134	138	144	191	144	183	132	252	94	163	150	104	120	113	
Martigues ND des Marins	178	158	187	180	174	157	138	143	121	172	146	162	127	213	107	145	160	107	135	130	
Miramas	211	169	209	193	197	175	178	198	143	187	139	212	162	201	133	138	150	131	153	149	
Port de Bouc La Lègue	184	218	213	208	163	162	141	119	113	166	147	165	127	128	106	132	180	116	128	135	
Rognac Barjaquets	212	160	211	218	258	168	170	168	172	217	157	242	169	265	126	165	229	147	144	142	
Salon de Provence	202	162	203	197	182	171	179	181	146	195	148	219	188	209	124	144	166	148	169	145	
Sausset les Pins	191	192	199	221	209	161	153	140	118	139	160	189	132	139	111	145	173	108	148	138	
Saint Remy de Provence	161	184	164	159	163	183	176	176	155	167	150	167	189	145	144	138	142	135	141	135	
Saintes Maries de la Mer	159	141	175	148	145	137	138	129	111	127	126	151	138	132	128	120	120	113	151	152	
Vitrolles	218	160	204	209	284	162	165	174	176	212	161	252	158	327	118	185	218	137	132	135	
Vaucluse																					
Apt	164	149	165		175	184	198	188	172	166	140	201	226	188	159			147	181	183	156
Avignon Arrousaire	168	166	172	164	190	198	169	184	169	187	159	164	198	174	155	168	122	152	136	137	
Avignon Mairie	144	153	145	143	170	177	156	161	150	155	135	149	170	147	143	131	147	111	133	125	127
Comtat Venaissin	148	145	162	154	153	201	183	188	163	160	136	160	217	179	151	127	145	107	147	163	160
Le Pontet	143	158	154	146	158	177	158	171	163	162	142	148	196	160	138	136	142	117	147	135	138
Cadarache/ V. de la Durance	174	155	179	160	215	171	203	198	206	208	141	191	170	242	147	135	178	187	140	127	142
Manosque	151	142	154	148	173	157	195	191	170	166	136	189	159	199	142	139	195	168	126	121	131
Saint Remy de Provence	161	184	164	159	163	183	176	176	155	167	150	167	189	145	144	138	142	135	141	135	0
Gard Rhodanien 2 (Air LR)	168	165	179	163	170	190	183	167	166	175	149	168	185	161	181	144	156	130	180	166	129
Alpes de Hautes Provence																					
Manosque	151	142	154	148	173	157	195	191	170	166	136	189	159	199	142	139	195	168	126	121	131
Château Arnoux - Saint Auban	162	196	189	158	155		166	167	146	178	152	223	192	162	150	140	177	147	130	128	131
Apt	164	149	165		175	184	198	188	172	166	140	201	226	188	159			147	181	183	156
Cadarache/ V. de la Durance	174	155	179	160	215	171	203	198	206	208	141	191	170	242	147	135	178	187	140	127	142
Var																					
Plan d'Aups / Sainte Baume	186	159	180	170	177	176	178	181	223	168	200	203	171	171	132	197	147	142	136	128	143
Brignoles	172	166	182	164	172	155	161	179	210	187	199	169	180	165	134	169	159	120	129	140	148
Hyères	163	162	197	159	157	158	140	130	149	116	184	126	120	116	161	159	95	120	126	146	
La Seyne sur Mer																					
Toulon Arsenal	153	156	180	143	158	130	125	130	145	121	173	116	120	112	113	175	165	102	128	113	138
La Valette du Var	166	152	200	170	164	172	148	137	190	122	184	157	122	112	128	171	160	103	126	137	159
La Ciotat	145	227	175	195	241	152	146	130	157	135	181	156	131	117	98	163	167	102	114	112	130
Alpes-Maritimes																					
Adréchas	134	151	160	164	168	161	195	191	176	192	162	175	162	162	138	155	167	118	125	132	143
Cians	133	134	152	161	157	152	201	189	181	167	152	167	155	163	136	146	151	121	138	129	143
Antibes Jean Moulin	153	188	196	149	130	152	172	155	149	146	129	179	160	153	143	137	152	84	128	140	157
Cannes Broussailles	142	175	183	147	136	150	166	150	162	136	128	166	153	152	138	151	139	82	122	134	153
Grasse Clavecin	141	174	169	152	131	143	153	161	162	149	147	172	162	145	149	141	143	69	113	123	120
Cagnes Ladoumègue	146	179	176	142	116	134	170	155	147	143	128	139	137	148	143	132	146	84	123	137	143
Nice Aéroport	169	196	203	164	145	147	183	165	163	157	158	156	177	166	169	153	169	102	154	158	180
Nice Ouest Botanique	160	200	198	167	172	163	176	138	145	127	131	251	178	153	238	124	135	134	116	130	149
Contes 2						165	194	191	178	191	168	186	192	179	179	177	168	87	126	136	139
Hautes Alpes																					
Briançon																					
Gap05																					